

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Facultad de Ingeniería Eléctrica

“SIMULACION DE UNA CENTRAL ELECTRICA CON
TURBINA DE GAS”

TESIS DE GRADO

Para obtener el título de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Presenta:

AGUSTIN ARRIAGA MAYA

ASESOR:

Dr. GILBERTO GONZALEZ AVALOS

NOVIEMBRE 2011

RESUMEN

Como primera parte en este trabajo se da una introducción y se mencionan algunas de las grandes razones que se tuvieron para analizar este tipo de centrales así como la estructura y seguimiento de ella.

En seguida se habla de los diferentes tipos y formas de generación de la energía eléctrica. En esta parte de igual manera se describen las diferentes formas que rigen el ciclo brayton en una central con turbina de gas.

La ciencia y la tecnología facilitan en gran escala el trabajo del hombre, es por ese motivo que se dio a la tarea de utilizar una herramienta computacional como lo es el matlab. En esta parte se da una introducción a matlab, se habla de sus aplicaciones mas frecuentes y de las herramientas que proporciona para facilitar el trabajo del hombre.

Una vez analizado cada uno de los aspectos antes mencionados, lo que corresponde es aplicar y comprobar la eficiencia de las herramientas computacionales. Se analizan dos problemas con valores y variables reales, de simulando asi lo que se encuentra en el campo laboral.

Finalmente se describe lo que se pretende con este trabajo, ayudar y ampliar este prototipo de centrales que como se menciono anterior mente llegará el tiempo (que no es muy lejano), que nos veremos en la gran necesidad de buscar, e innovar nuevas formas de generar y producir energía eléctrica, y mientras esto se sabe que el uso y la aplicación de este tipo de centrales con turbina de gas tiene una razón de ser muy importante en el sector eléctrico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Turbina de gas.....	4
Figura 2.2 Ciclo Brayton, ciclo real, ciclo ideal.....	14
Figura 2.3 P-v y T-s.....	15
Figura 2.4 Un motor de turbina de gas de ciclo abierto.....	17
Figura 2.5 Un motor de turbina de gas de ciclo cerrado.....	23
Figura 2.6 Diagrama presión-Volumen, Temperatura-Entropía.....	23
Figura 2.7 Ciclo Brayton con regeneración.....	24
Figura 2.8 Ciclo Brayton con regeneración, recalentamiento y regeneración.....	27
Figura 3.1 Simulink Library Browser.....	34
Figura 3.2 Librería Simulink.....	35
Figura 3.3 Bloques mas utilizados en la librería Simulink.....	36
Figura 3.4 Diagrama de flujo.....	37
Figura 3.5 Ramificación if.....	39
Figura 3.6 Diagrama de flujo de una ramificación if / else.....	41
Figura 3.7 Diagrama de flujo de un bucle for.....	43
Figura 3.8 Diagrama de flujo de un bucle while.....	44
Figura 3.9 Estructura de programa principal.....	46
Figura 3.10 Menú que muestra matlab al ejecutar el programa.....	46
Figura 3.11 Esquema de la planta que muestra Matlab.....	47
Figura 3.12 Secuencia de los datos requeridos por Matlab.....	48
Figura 3.13 Resultados que proporciona el programa.....	49
Figura 3.14 Gráfica que rige el ciclo brayton Temperatura-Entropía.....	50
Figura 3.15 Grafica que rige el ciclo brayton Presión-Volumen.....	51

Figura 3.16 Primera parte del programa para ciclo brayton simple.....	52
Figura 3.17 Segunda parte del programa para el ciclo brayton simple.....	52
Figura 3.18 Menú que muestra matlab al ejecutar el programa.....	53
Figura 3.19 Esquema de planta que muestra matlab.....	54
Figura 3.20 Primera parte código fuente para el ciclo brayton con regeneración.....	54
Figura 3.21 Segunda parte código fuente para el ciclo brayton con regeneración.....	55
Figura 4.1 Diagrama que muestra matlab al ejecutar el programa.....	58
Figura 4.2 Requerimiento de datos.....	59
Figura 4.3 Resultados y graficas que muestra el programa.....	60
Figura 4.4 Ciclo brayton con regeneración.....	62
Figura 4.5 Requerimiento de datos.....	62
Figura 4.6 Resultados y graficas arrojadas.....	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Condiciones.....	38
----------------------------	----

LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIACIONES

C_p Calor específico a presión constante

Q Transferencia de calor

q Transferencia de calor adimensional

W Trabajo neto del ciclo

W Trabajo adimensional

T Temperatura

e Eficiencia

η Eficiencia

P Presión

S Entropía

V Volumen

k Constante

C Compresor

X Razón de presión o temperatura

U Coeficiente global de transferencia de calor por unidad de área

B Relación de compresión

h Entalpia

u Energía interna

m_a caudal másico de aire (kg/h)

m_g caudal másico de gases (kg/h)

BTU British Thermal Unit

CONTENIDO

Resumen.....	I
Lista de Figuras.....	II
Lista de Tablas	III
Lista de Símbolos y Abreviaciones.....	IV

CAPITULO 1	INTRODUCCION.	Pág.
-------------------	----------------------	-------------

1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivo.....	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Metodología.....	2

CAPITULO 2	CENTRALES ELECTRICAS CON TURBINAS DE GAS
-------------------	---

2.1 Introducción.....	3
2.2 La generación de energía eléctrica	4
2.2.1 Centrales Termoeléctricas.....	5
2.2.2 Centrales hidroeléctricas	7
2.2.3 Centrales Eólicas	8
2.2.4 Centrales Fotovoltaicas.....	9
2.2.5 Centrales Geotérmicas	9
2.2.6 Los residuos Orgánicos (Biomasa)	10
2.3 Planta eléctrica con turbina de gas	11
2.3.1 Bosquejo histórico	11
2.3.2 Ciclo termodinámico	12
2.3.3 Ciclo brayton	13

2.3.4 Objetivo del ciclo brayton y sus aplicaciones	15
2.3.5 Rendimiento térmico del ciclo brayton simple	17
2.3.6 Expresión del trabajo en una planta de turbina de gas	20
2.3.7 Ciclo brayton con regeneración.....	22
2.3.8 Ciclo brayton con interfriamiento, recalentamiento y regeneración.....	24
2.3.9 Eficiencia del ciclo	26

CAPITULO 3 LA PLANTA DE TURBINA DE GAS CON PROPOSITO DE PROGAMACION

3.1 Introducción.....	27
3.2 Matlab.....	27
3.2.1 Matrices.....	28
3.2.2 funciones principal	29
3.2.3 Gui y guide	30
3.2.4 Diseño de filtros en matlab	30
3.2.5 Simulink en matlab	31
3.3 Matlab como herramienta de programación	34
3.3.1 Nociones preliminares.....	34
3.3.2 Control de flujo	35
3.3.3 Condiciones.....	36
3.3.4 Ramificaciones	37
3.3.5 Bucles	40
3.4 Campo de aplicación y especificaciones del programa	43
3.5 Estructura del programa	43

CAPITULO 4 CASOS DE ESTUDIO

4.1 Introducción.....55

4.2 Planteamiento del problema55

 4.2.1 Ciclo brayton simple55

 4.2.2 Ciclo brayton con regeneración simple59

CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1 Conclusiones.....63

5.2 Trabajos futuros.....63

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 INTRODUCCION

Hoy en día la tecnología proporciona una gran ayuda y facilita bastante el análisis de algunos sistemas dinámicos y estáticos.

Las herramientas computacionales han sido una gran ayuda para los ingenieros, ya que se pueden tener un mejor entendimiento de conceptos aprendidos. Así mismo, se realizan operaciones complejas en muy poco tiempo y se obtiene más eficiencia al momento de hacer un trabajo. En la actualidad existe una gran variedad de software cada uno de ellos con el propósito de reducir, hacer más eficientes y exactos los resultados a la hora de resolver problemas. Matlab es uno de ellos, desde hace muchos años se ha convertido en uno de los más importantes en el área de ingeniería.

Utilizando un método computarizado, mediante un programa de lenguaje comercial como lo es el MATLAB se realizó la programación y de esta manera reducir el análisis de las centrales eléctricas con turbinas de gas. Con estos programas se pretende reducir y facilitar el análisis.

1.2 OBJETIVO

El objetivo de este proyecto de tesis es simular y analizar las centrales eléctricas basadas en turbinas de gas y de esta manera mostrar la gran importancia que tienen estos tipos de centrales en el sector eléctrico

1.3 JUSTIFICACION

Analizando las grandes ventajas que presentan las centrales eléctricas con turbina de gas, respecto a otras, es de gran importancia e interés mencionar en este trabajo de tesis que estas centrales presentan bajos costos de instalación por MWatts de salida, e incrementa la disponibilidad de gas natural como contratos de bajo precio fijo, y algo que es de gran interés e importancia para este tipo de centrales basadas en turbina de gas es que incrementan en la demanda para aplicación de capacidad pico en mercados combinados, otra característica que nos motiva a analizar este tipo de plantas es la posibilidad de ubicar e instalar unidades de 1.7 a 40 MW (o más grandes) en semanas o meses y nunca años como lo es para algunas otras, es de gran interés mencionar que el proceso de combustión es continuo y se realiza a presión constante en la cámara de combustión (diferente a los motores de combustión interna) y además no necesita de agua a diferencia de las turbinas de vapor que requieren de un condensador, una característica muy importante es que este tipo de plantas eléctricas permite usar diferentes tipos de combustibles como kerosene, gasoil, gas natural, carbón pulverizado, siempre que los gases de combustión no corroan los alabes o se depositen en ellos.

1.4 METODOLOGIA

Para este proyecto de tesis se ha contemplado apoyarse de un software llamado MATLAB que se utiliza como herramienta de programación y simulación de centrales eléctricas con turbinas de gas, basadas en el ciclo brayton simple y ciclo brayton con regeneración, y una vez que se tengan los parámetros de la central eléctrica establecida podremos obtener los resultados para determinar la eficiencia y el trabajo efectuado por la planta eléctrica.

Para el modelado y simulación de la central eléctrica es necesario conocer algunas variables en cada uno de los puntos determinados.

CAPITULO 2

CENTRALES ELECTRICAS CON TURBINA DE GAS

2.1 INTRODUCCION

Una turbina de gas, es una turbo-máquina motora, cuyo fluido de trabajo es un gas. Como la compresibilidad de los gases no puede ser despreciada, las turbinas a gas son turbo-máquinas térmicas. Comúnmente se habla de las turbinas a gas por separado de las turbinas, ya que, aunque funcionan con sustancias en estado gaseoso, sus características de diseño son diferentes, y, cuando en estos términos se habla de gases, no se espera un posible cambio de fase, en cambio cuando se habla de vapores sí, se tiene presente cambio de fases

Las turbinas de gas son usadas en los ciclos de potencia como el ciclo Brayton y en algunos ciclos de refrigeración. Es común en el lenguaje cotidiano referirse a los motores de los aviones como turbinas, pero esto es un error conceptual, ya que éstos son turborreactores los cuales son máquinas que, entre otras cosas, contienen una turbina de gas. En la Figura 2.1 se muestra una turbina de gas muy usual en la industria eléctrica.

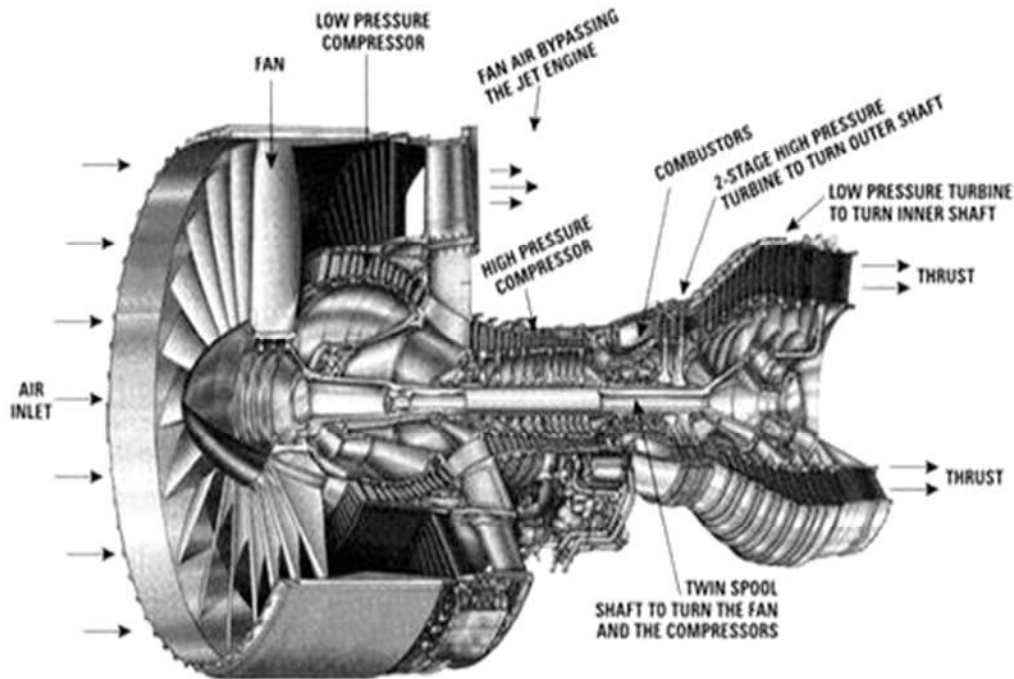


Figura 2.1 Turbina de gas

2.2 LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

La generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Para la generarla se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

Desde que Nicola Tesla descubrió la corriente alterna y la forma de producirla en los alternadores, se ha llevado a cabo una inmensa actividad tecnológica para llevar la energía eléctrica a todos los lugares habitados del mundo, por lo que, junto a la construcción de grandes y variadas centrales eléctricas, se han construido sofisticadas redes de transporte y sistemas de distribución. Sin embargo, el aprovechamiento ha sido y sigue siendo muy desigual en todo el planeta. Así, los países industrializados o del Primer mundo son grandes consumidores de energía eléctrica, mientras que los países del llamado Tercer mundo apenas disfrutan de sus ventajas.

La demanda de energía eléctrica de una ciudad, región o país tiene una variación a lo largo del día. Esta variación es función de muchos factores, entre los que destacan: tipos de industrias existentes en la zona y turnos que realizan en su producción, climatología extremas de frío o calor, tipo de electrodomésticos que se utilizan más frecuentemente, tipo de calentador de agua que haya instalado en los hogares, la estación del año y la hora del día en que se considera la demanda. La generación de energía eléctrica debe seguir la curva de demanda y, a medida que aumenta la potencia demandada, se debe incrementar la potencia suministrada. Esto conlleva el tener que iniciar la generación con unidades adicionales, ubicadas en la misma central o en centrales reservadas para estos períodos.

Dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada, las centrales generadoras se clasifican en termoeléctricas (de carbón, petróleo, gas, nucleares y solares termoeléctricas), hidroeléctricas (aprovechando las corrientes de los ríos o del mar: mareomotrices), eólicas y solares fotovoltaicas. La mayor parte de la energía eléctrica generada a nivel mundial proviene de los dos primeros tipos de centrales reseñados. Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen en común el elemento generador, constituido por un alternador, movido mediante una turbina que será distinta dependiendo del tipo de energía primaria utilizada.

Por otro lado, un 64% de los directivos de las principales empresas eléctricas consideran que en el horizonte de 2018 existirán tecnologías limpias, asequibles y renovables de generación local, lo que obligará a las grandes corporaciones del sector a un cambio de mentalidad.

2.2.1 Centrales Termoeléctricas

Una central termoeléctrica es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de calor. Este calor puede obtenerse tanto de combustibles fósiles (petróleo, gas natural o carbón) como de la fusión nuclear del uranio u otro combustible

nuclear o del sol como las solares termoeléctricas. Las centrales que en el futuro utilicen la fusión también serán centrales termoeléctricas.

En su forma más clásica, las centrales termoeléctricas consisten en una caldera en la que se quema el combustible para generar calor que se transfiere a unos tubos por donde circula agua, la cual se evapora. El vapor obtenido, a alta presión y temperatura, se expande a continuación en una turbina de vapor, cuyo movimiento impulsa un alternador que genera la electricidad. Luego el vapor es enfriado en un Condensador donde circula por tubos agua fría de un caudal abierto de un río o por torre de refrigeración.

En las centrales termoeléctricas denominadas de ciclo combinado se usan los gases de la combustión del gas natural para mover una turbina de gas. En una cámara de combustión se quema el gas natural y se inyecta aire para acelerar la velocidad de los gases y mover la turbina de gas. Como, tras pasar por la turbina, esos gases todavía se encuentran a alta temperatura (500 °C), se reutilizan para generar vapor que mueve una turbina de vapor. Cada una de estas turbinas impulsa un alternador, como en una central termoeléctrica común. El vapor luego es enfriado por medio de un caudal de agua abierto o torre de refrigeración como en una central térmica común. Además, se puede obtener la cogeneración en este tipo de plantas, al alternar entre la generación por medio de gas natural o carbón. Este tipo de plantas está en capacidad de producir energía más allá de la limitación de uno de los dos insumos y pueden dar un paso a la utilización de fuentes de energía por insumos diferentes.

Las centrales térmicas que usan combustibles fósiles liberan a la atmósfera dióxido de carbono (CO_2), considerado el principal gas responsable del calentamiento global. También, dependiendo del combustible utilizado, pueden emitir otros contaminantes como óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas sólidas (polvo) y cantidades variables de residuos sólidos. Las centrales nucleares pueden contaminar en situaciones accidentales y también generan residuos radiactivos de diversa índole.

Una central térmica solar o central termo solar es una instalación industrial en la que, a partir del calentamiento de un fluido mediante radiación solar y su uso en un ciclo termodinámico convencional, se produce la potencia necesaria para mover un alternador para generación de energía eléctrica como en una central térmica clásica. En ellas es necesario concentrar la

radiación solar para que se puedan alcanzar temperaturas elevadas, de 300 °C hasta 1000 °C, y obtener así un rendimiento aceptable en el ciclo termodinámico, que no se podría obtener con temperaturas más bajas. La captación y concentración de los rayos solares se hacen por medio de espejos con orientación automática que apuntan a una torre central donde se calienta el fluido, o con mecanismos más pequeños de geometría parabólica. El conjunto de la superficie reflectante y su dispositivo de orientación se denomina heliostato. Su principal problema medioambiental es la necesidad de grandes extensiones de territorio que dejan de ser útiles para otros usos (agrícolas, forestales, etc.).

2.2.2 Centrales Hidroeléctricas

Una central hidroeléctrica es aquella que se utiliza para la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a más alto nivel que la central. El agua se lleva por una tubería de descarga a la sala de máquinas de la central, donde mediante enormes turbinas hidráulicas se produce la electricidad en alternadores. Las dos características principales de una central hidroeléctrica, desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad son:

- La potencia, que es función del desnivel existente entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de las aguas debajo de la central, y del caudal máximo turbinable, además de las características de la turbina y del generador.
- La energía garantizada en un lapso determinado, generalmente un año, que está en función del volumen útil del embalse, de la pluviometría anual y de la potencia instalada.

La potencia de una central hidroeléctrica puede variar desde unos pocos MW, hasta varios GW. Hasta 10 MW se consideran mini centrales. En China se encuentra la mayor central hidroeléctrica del mundo (la Presa de las Tres Gargantas), con una potencia instalada de 22,500 MW. La segunda es la Represa de Itaipú (que pertenece a Brasil y Paraguay), con una potencia instalada de 14,000 MW en 20 turbinas de 700 MW cada una.

Esta forma de energía posee problemas medioambientales al necesitar la construcción de grandes embalses en los que acumular el agua, que es sustraída de otros usos, incluso urbanos en algunas ocasiones.

Actualmente se encuentra en desarrollo la explotación comercial de la conversión en electricidad del potencial energético que tiene el oleaje del mar, en las llamadas centrales mareomotrices. Estas utilizan el flujo y reflujo de las mareas. En general puede ser útil en zonas costeras donde la amplitud de la marea sea amplia, y las condiciones morfológicas de la costa permitan la construcción de una presa que corte la entrada y salida de la marea en una bahía. Se genera energía tanto en el momento del llenado como en el momento del vaciado de la bahía

2.2.3 Centrales Eólicas

La energía eólica es la que se obtiene del viento, es decir, de la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire o de las vibraciones que el dicho viento produce. Los molinos de viento se han usado desde hace muchos siglos para moler el grano, bombear agua u otras tareas que requieren una energía. En la actualidad se usan aerogeneradores para generar electricidad, especialmente en áreas expuestas a vientos frecuentes, como zonas costeras, alturas montañosas o islas. La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.²

El impacto medioambiental de este sistema de obtención de energía es relativamente bajo, pudiéndose nombrar el impacto estético, porque deforman el paisaje, la muerte de aves por choque con las aspas de los molinos o la necesidad de extensiones grandes de territorio que se sustraen de otros usos. Además, este tipo de energía, al igual que la solar o la hidroeléctrica, están fuertemente limitada por las condiciones climatológicas, siendo aleatoria la disponibilidad de las mismas.

2.2.4 Centrales Fotovoltaicas

Se denomina energía solar fotovoltaica a la obtención de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. Los paneles, módulos o colectores fotovoltaicos están formados por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. El acoplamiento en serie de varios de estos fotodiodos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy sencillas y aptas para alimentar pequeños dispositivos electrónicos. A mayor escala, la corriente eléctrica generada en los paneles fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna e inyectar en la red eléctrica. Alemania es en la actualidad el segundo productor mundial de energía solar fotovoltaica tras Japón, con cerca de 5 millones de metros cuadrados de colectores de sol, aunque sólo representa el 0,03% de su producción energética total. La venta de paneles fotovoltaicos ha crecido en el mundo al ritmo anual del 20% en la década de los noventa. En la Unión Europea el crecimiento medio anual es del 30%, y Alemania tiene el 80% de la potencia instalada de la unión.

Los principales problemas de este tipo de energía son su elevado costo en comparación con los otros métodos, la necesidad de extensiones grandes de territorio que se sustraen de otros usos, la competencia del principal material con el que se construyen con otros usos (el sílice es el principal componente de los circuitos integrados), o su dependencia con las condiciones climatológicas. Este último problema hace que sean necesarios sistemas de almacenamiento de energía para que la potencia generada en un momento determinado, pueda usarse cuando se solicite su consumo. Se están estudiando sistemas como el almacenamiento cinético, bombeo de agua a presas elevadas, almacenamiento químico, entre otros.

2.2.5 Centrales Geotérmicas

Una central geotérmica es un lugar donde se aprovecha el calor interno de la Tierra. Para poder utilizar esta energía es necesario que se den temperaturas muy elevadas a poca profundidad. Sólo así es posible aprovechar el agua caliente o el vapor de agua generados de forma natural.

Este tipo de energía se utiliza principalmente para calefacción y usos agrícolas. La energía geotérmica es renovable y apenas produce residuos. Sin embargo, su aprovechamiento está limitado a determinadas zonas geográficas. En algunos casos, el agua extraída puede contener sustancias tóxicas, como el arsénico; esto, unido a las elevadas temperaturas del agua extraída, puede dañar los ecosistemas del exterior

Funciona de la misma manera que una central térmica, lo único que varía es en la forma de generar el vapor.

2.2.6 Los Residuos Orgánicos (Biomasa)

Se consideran residuos orgánicos en función de producir energía aquellos que son producto de la actividad humana o directamente productiva y que no tienen otro destino aparente que el de ser desechos. Entre ellos se encuentran, por ejemplo, parte de la basura que se produce en las ciudades, la vegetación y hojas secas de los parques urbanos y desechos de la industria o la agricultura como masas vegetales, por ejemplo, el bagazo de la caña. También el excremento animal.

Los modos fundamentales del uso energético son mediante la combustión para producir calor, en el caso de Cuba, quemando el bagazo para producir electricidad y en otros países se recogen los desechos orgánicos de las ciudades y las hojas de los árboles (Viet Nam) para producir calor con diferentes fines. Otro modo de empleo es la fermentación, que produce el biogás, método que se ha empleado en Cuba con cierto éxito en instalaciones como vaquerías; presentan una serie de ventajas como: reducen la peligrosidad y la contaminación de los residuos, eliminan el olor desagradable de los desechos y no producen desequilibrio en la naturaleza.

Un enfoque ecológico de este tipo de fuentes indica una gran ventaja económica y ambiental, pues se trata de que ello permita eliminar fuentes contaminantes a la vez que es un modo de reciclar materiales ya utilizados.

2.3 PLANTA ELECTRICA CON TURBINA DE GAS

Una planta con turbinas de gas es aquella que se aprovecha de la energía de gas caliente (generalmente aire), para mover una turbina llamada de gas, que a su vez está acoplada al generador eléctrico, y así de esta manera obtener energía eléctrica.

2.3.1 Bosquejo histórico

El conocimiento de las turbinas de gas data desde la antigüedad, cuando Eros de Alejandría construyó una turbina de gas rústica, sin embargo, es la máquina prima de incorporación más reciente a la generación de energía eléctrica.

Fue hasta 1791 cuando el inglés John Barbe inventó una turbina de gas que ya incluía: un compresor, cámara de combustión, turbina de impulso y un mecanismo para inyectar agua para evitar explosiones y temperaturas excesivas en los alabes. Este arreglo funcionaba muy deficiente.

La primera auténtica turbina de gas fue diseñada por el Dr. Stole en 1872. El sistema consiste de un compresor de varias etapas acoplado directamente a una turbina de reacción agregándole calor en una cámara de combustión. El gas o aire caliente era entonces usado para girar el rotor de la turbina. El inconveniente de este sistema fue que el aire no se calentaba suficiente y casi toda la potencia se empleaba en mover el compresor resultando muy baja eficiencia.

En 1904, Armengaud y Lemale, dos franceses, convirtieron una turbina de vapor de 25 hp a una turbina de gas. Un compresor separado fue usado para comprimir el aire que pasaba por una cámara de combustión para luego fluir hacia las toberas de la turbina, la cámara de combustión fue enfriada con tubos de agua instalada en su alrededor y el vapor generado en estos tubos se mezclaba con el aire caliente en la tobera.

Esta turbina opera satisfactoriamente y genera 400 hp contra los 25 hp de la turbina original. Sin embargo, el sistema no fue eficiente que usó 2.7 libras de gasolina en comparación con 1.6 libras por hp del motor de gasolina de 4 tiempos.

A principios del siglo XX, la mayoría de los investigadores dejaron de trabajar en la turbina de gas considerando que nunca sería de aplicación práctica. Sin embargo, A. Stodola y Adolph Meyer, ingenieros de la compañía Brown Boveri en Suiza continuaron sus investigaciones hasta lograr sus resultados satisfactorios cercanos a los que tienen actualmente-

Así, esta compañía en los años de 1936 a 1939 fabricó 23 grupos de turbogeneradores con turbinas de gas con potencia que varía entre 300 y 400 KW. En 1946 se fabricaron las turbinas para la planta de Benzau con capacidad la primera de 13000KW y 27000KW para la segunda.

Dos fueron los factores que contribuyeron al desarrollo a las turbinas de gas:

- La aplicación de turbinas de gas a la propulsión de aviones durante la segunda guerra mundial, sólo Alemania construyó del tipo Junkers Jumo, 6000 turbo-jets hasta abril de 1945.
- El desarrollo del compresor axial de pasos múltiples.

En conclusión se puede decir que en la actualidad los grandes adelantos alcanzados, en el diseño de turbinas, compresores, la aplicación de aleaciones resistentes a altas temperaturas el uso de ciclos termodinámicos de trabajos mas eficiente, han hecho de la turbina un competidor de los primo motores.

2.3.2 Ciclo termodinámico

La turbina de gas para producir energía mecánica aprovecha el calor que lleva consigo los gases de combustión o aire, los cuales se calentaron al quemarse un combustible, y se expansionan de forma parecida al vapor de las turbinas de vapor, sobre los alabes móviles de un rodete. El ciclo termodinámico que se sigue es el denominado Brayton.

2.3.3 Ciclo brayton

La mayor parte de los dispositivos que producen potencia operan en ciclos, y el estudio de los ciclos de potencia es una parte interesante e importante de la termodinámica, y precisamente en este escrito trataremos la base para los motores de turbina de gas.

Los ciclos que se efectúan en dispositivos reales son difíciles de examinar por que hay demasiadas variaciones y detalles que se tienen que tomar en cuenta al mismo tiempo y se complica demasiado el entorno. Para facilitar el estudio de los ciclos se optó por crear el llamado ciclo ideal, en el cual se eliminan todas esas complicaciones que no permiten un análisis eficaz, por lo tanto se llega a alejar de la realidad pero en una manera moderada. En el esquema de la figura 2.2 se puede llegar a apreciar una aproximación entre un ciclo ideal y uno real. Se puede notar que difieren pero se encuentran aproximadamente en el mismo rango.

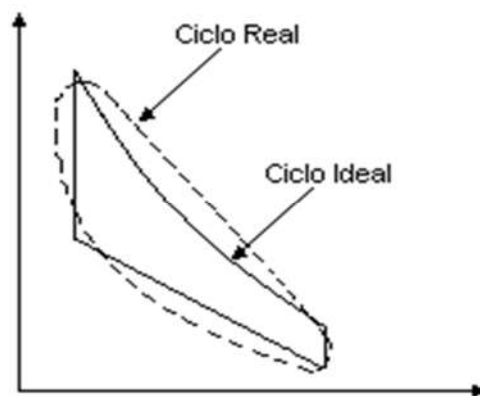


Figura 2.2 Ciclo Brayton, ciclo real, ciclo ideal

Los ciclos ideales son internamente reversibles pero, a diferencia del ciclo de Carnot, no es necesario que sean externamente reversibles. Es decir, pueden incluir irreversibilidades externas al sistema como la transferencia de calor debida a una diferencia de temperatura finita. Entonces, la eficiencia térmica de un ciclo ideal, por lo general, es menor que la de un ciclo totalmente reversible que opere entre los mismos límites de temperatura. Sin embargo, aún es considerablemente más alta que la eficiencia térmica de un ciclo real debido a las idealizaciones empleadas.

Las idealizaciones y simplificaciones empleadas en los análisis de los ciclos de potencia, por lo común pueden resumirse del modo siguiente:

- El ciclo no implica ninguna fricción. Por lo tanto, el fluido de trabajo no experimenta ninguna reducción de presión cuando fluye en tuberías o dispositivos como los intercambiadores de calor.
- Todos los procesos de compresión y expansión se dan en el modo de cuasi equilibrio.
- Las tuberías que conectan a los diferentes componentes de un sistema están muy bien aisladas y la transferencia de calor por ellas es despreciable.

Los diagramas de propiedades P-v y T-s que se ilustran en la figura 2.3 han servido como auxiliares valiosos en el análisis de procesos termodinámicos. Tanto en los diagramas P-v como en los T-s, el área encerrada en las curvas del proceso de un ciclo representa el trabajo neto producido durante el ciclo, lo cual es equivalente a la transferencia de calor neta en ese ciclo.

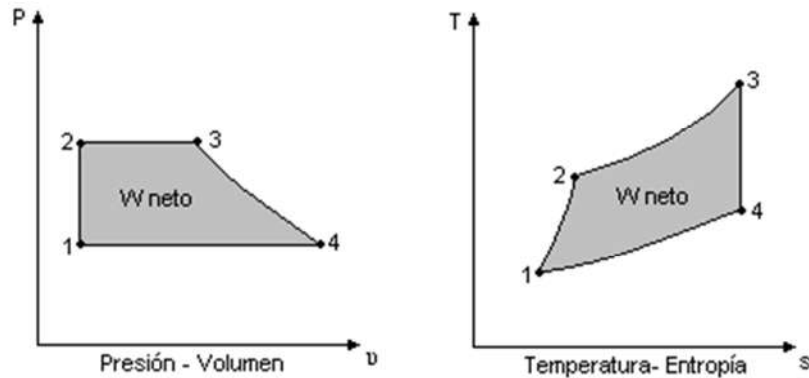


Figura 2.3 P-v y T-s

El ciclo Brayton también llamado de Joule fue propuesto por primera vez por George Brayton, se desarrollo originalmente empleando una máquina de pistones con inyección de combustible, pero ahora es común realizarlo en turbinas con ciclos abiertos o cerrados. La máquina de ciclo abierto puede emplearse tanto con combustión interna como con

transferencia de calor externa, en tanto que la máquina con ciclo cerrado tiene una fuente de energía externa.

2.3.4 Objetivo del ciclo brayton y sus aplicaciones

El objetivo del ciclo Brayton de turbina de gas es convertir energía en forma de calor en trabajo, por lo cual su rendimiento se expresa en términos de eficiencia térmica.

Las dos principales áreas de aplicación de las turbinas de gas son la propulsión de aviones y la generación de energía eléctrica. Cuando se emplean en propulsión de aviones, la turbina de gas produce la potencia suficiente para accionar el compresor y a un pequeño generador que alimenta el equipo auxiliar. Los gases de escape de alta velocidad son los responsables de producir el empuje necesario para accionar la aeronave. Las turbinas de gas también se utilizan como centrales estacionarias que producen energía eléctrica. Ésta se genera mediante centrales eléctricas de vapor. Las centrales eléctricas de turbina de gas son empleadas por la industria de generación eléctrica en emergencias y durante períodos picos gracias a su bajo costo y rápido tiempo de respuesta. Las turbinas de gas también se utilizan con las centrales eléctricas de vapor en el lado de alta temperatura, formando un ciclo dual. En estas plantas, los gases de escape de las turbinas de gas sirven como la fuente de calor para el vapor. El ciclo de turbina de gas también puede ejecutarse como un ciclo cerrado para ser utilizado en centrales nucleoelectricas. Esta vez el fluido de trabajo no se limita al aire., y puede emplearse un gas con características más convenientes (como el helio).

La mayor parte de las flotas navales del mundo occidental ya utilizan motores de turbinas de gas para propulsión y para la regeneración de energía eléctrica. Comparadas con la turbina de vapor y los sistemas de propulsión diesel, la turbina de gas ofrece mayor potencia para un tamaño y peso determinado, alta confiabilidad, larga vida y operación más conveniente. El tiempo de arranque de la máquina ha sido reducido de las 4 horas requeridas de un sistema de propulsión típico a menos de 2 minutos para una turbina de gas. Muchos sistemas de propulsión marina modernos, utilizan turbinas de gas junto a motores diesel, debido al alto consumo de combustible de los motores de turbina de gas de ciclo simple. En sistemas

combinados, el quipo diesel se utiliza para dar de manera eficiente baja potencia y operación de crucero, y la turbina de gas se utiliza cuando se necesitan altas velocidades.

También han sido aplicadas a vehículos pero en la actualidad sólo existe algún proyecto, como el Volvo ECC (híbrido eléctrico-turbina de gas). Los problemas que dificultan su aplicación en automoción son que aceptan mal los arranques y las paradas y les cuesta mucho cambiar de régimen (son muy lentas acelerando). De hecho el funcionamiento habitual de las turbinas de gas es siempre al mismo régimen y las variaciones de demanda de potencia se hacen manteniendo el régimen y variando el par (fuerza de giro) generado.

En la figura 2.4 se muestra el ciclo Brayton en su modalidad de ciclo abierto

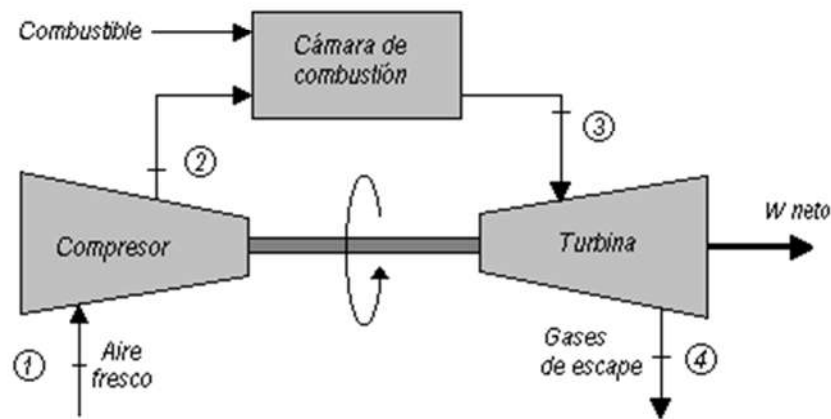


Figura 2.4 Un motor de turbina de gas de ciclo abierto

El funcionamiento de éste se explica a continuación:

Las turbinas de gas usualmente operan en un ciclo abierto, como muestra la figura 2.4 Aire fresco en condiciones ambiente se introduce dentro del compresor donde su temperatura y presión se eleva. El aire de alta presión sigue hacia la cámara de combustión donde el combustible se quema a presión constante. Luego los gases de alta temperatura que resultan entran a la turbina, donde se expanden hasta la presión atmosférica, de tal forma que producen

potencia. Los gases de escape que salen de la turbina se expulsan hacia fuera (no se recirculan), lo que provoca que el ciclo se clasifique como un ciclo abierto.

2.3.5 Rendimiento térmico del ciclo brayton simple.

Por definición se tiene que la eficiencia es,

$$e = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (2.1)$$

Donde Q1 es calor proporcionado al flujo de aire en la cámara de combustión, Q2 es el calor de los gases de escape y M es la masa del sistema.

Considerando que:

$$Q = M_p \Delta T$$

Se tendrá entonces:

$$e = \frac{M_{cp} (T_3 - T_2) - M_{cp} (T_4 - T_1)}{M_{cp} (T_3 - T_2)} \quad (2.2)$$

Reduciendo la expresión queda:

$$e = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} \quad (2.3)$$

Dividiendo los dos términos del quebrado por T1

$$e = \frac{\frac{T_4}{T_1} - 1}{\frac{T_3}{T_1} - \frac{T_2}{T_1}} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \left(\frac{\frac{T_4}{T_1} - 1}{\frac{T_3}{T_2} - 1} \right) \quad (2.4)$$

Pero según la figura 2.3 para la transformación adiabática de compresión entre 1 y 2 se tiene:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{K-1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} \quad y \quad \frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{K-1}{K}}$$

También la misma figura se tiene:

$$P_1 = P_4 \text{ y } P_2 = P_3$$

Por lo tanto

$$\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{K-1} = \left(\frac{V_4}{V_3} \right)^{K-1}$$

que puede ser lo mismo:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4}.$$

De igual forma:

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$$

Sustituyendo en:

$$e = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (2.5)$$

También:

$$e = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} \quad (2.6)$$

Pero se sabe por termodinámica que:

$$\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{K-1} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}}$$

Sustituyendo se llega:

$$e = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}}} \quad (2.7)$$

Si llamamos grado o relación de compresión a:

$$B = \frac{P_2}{P_1}$$

Se tiene:

$$e = 1 - \frac{1}{B^{\frac{K-1}{K}}} \quad (2.8)$$

Se deduce fácilmente que el rendimiento térmico del ciclo ideal puede aumentarse si se incrementa la relación de compresión β . En la práctica β no puede aumentarse más allá de ciertos límites ya que a presiones muy elevadas las pérdidas en el compresor resultan demasiado alta y, además los materiales actuales no pueden soportar los esfuerzos a los que se ven sometidos debido a las altas presiones y temperaturas al operarse en estas condiciones.

2.3.6 Expresión del trabajo en una planta de turbina de gas

Si se desprecian diferencias de energía cinética y potencial, de la primera ley de la termodinámica es fácil deducir la expresión del trabajo consumido por el compresor,

$$W_c = h_1 - h_2 \quad (2.9)$$

También se puede escribir de la siguiente forma:

$$W_c = C_p (T_1 - T_2) \quad (2.10)$$

y el trabajo desarrollado en la turbina es:

$$W_t = C_p (T_3 - T_4) \quad (2.11)$$

Donde C_p es el calor específico, el trabajo es por unidad de masa.

El trabajo útil en el ciclo ideal es la suma algebraica de los trabajos del compresor y la turbina. Los valores obtenidos para el compresor son negativos y positivos para la turbina. Por lo tanto, el trabajo útil es:

$$W = W_t - W_c \quad (2.12)$$

Sustituyendo las ecuaciones (2.10) y (2.11) en la ecuación (2.12) nos queda lo siguiente:

$$W = C_p(T_3 - T_4) - C_p(T_1 - T_2) \quad (2.13)$$

Reduciendo términos queda lo siguiente:

$$W = C_p (T_3 - T_4 + T_2 - T_1) \quad (2.14)$$

El ciclo de turbina de gas abierto recién escrito para modelarse como un ciclo cerrado, del modo que se muestra en la figura 2.5, mediante las suposiciones de aire estándar.

En este caso los procesos de compresión y expansión permanecen iguales, pero el proceso de combustión se sustituye por un proceso de adición de calor a presión constante de una fuente externa, y el proceso de escape se reemplaza por uno de rechazo de calor a presión constante hacia el aire ambiente.

El ciclo ideal que el fluido de trabajo experimenta en este ciclo cerrado es el ciclo Brayton, que está integrado por cuatro procesos internamente reversibles:

1-2 compresión isentrópica (en un compresor)

2-3 Adición de calor a $P=\text{constante}$

3-4 Expansión isentrópica (en una turbina)

4-1 Rechazo de calor a $P=\text{constante}$

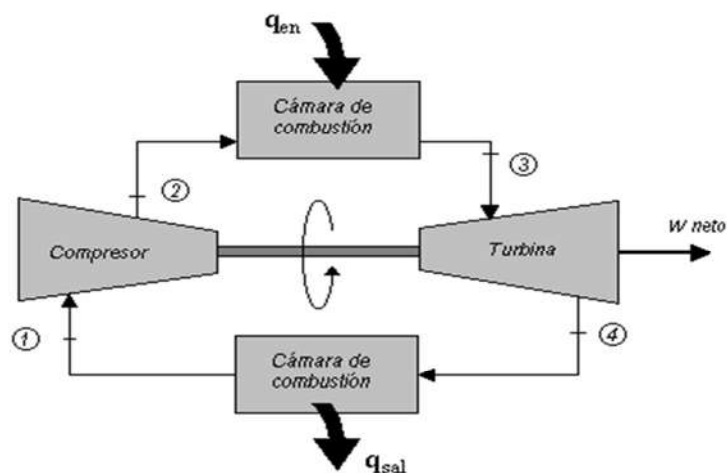


Figura 2.5 Un motor de turbina de gas de ciclo cerrado

El fluido de trabajo en ciclo cerrado entra al intercambiador de calor de temperatura elevada en el estado 1, donde se le agrega energía a un proceso de presión constante, hasta que alcanza la temperatura elevada del estado 2. Entonces, el fluido entra a la turbina y tiene lugar una expansión isentrópica, produciendo cierta potencia. El fluido sale de la turbina al estado 3 y pasa a ser enfriado, en un proceso a presión constante, en el intercambiador de calor de temperatura baja, de donde sale al estado 4, listo para entrar al compresor. Ahí el fluido es comprimido isentrópicamente al estado 1 y el ciclo se repite.

En la figura 2.6 se ilustra los diagramas Presión-Volumen, Temperatura-Entropía

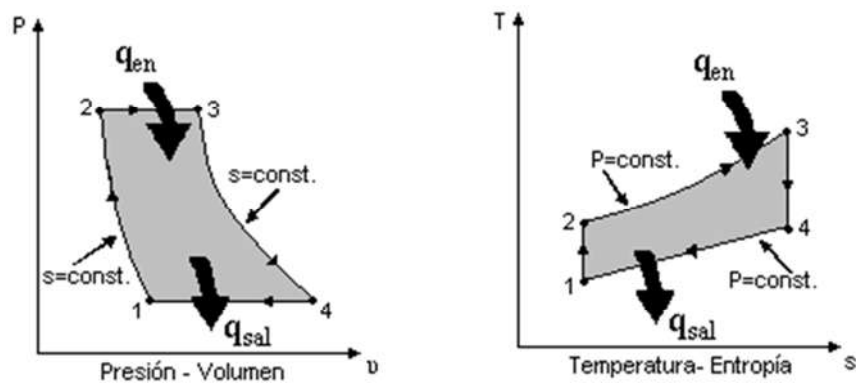


Figura 2.6 Diagrama presión-Volumen, Temperatura-Entropía

En estos diagramas se pueden observar los procesos y estados descritos en el ciclo Brayton.

2.3.7 CICLO BRAYTON CON REGENERACION

Con el propósito de mejorar la eficiencia del ciclo Brayton, se han implementado diversas modificaciones del ciclo simple, entre ellas se tiene el ciclo con regeneración, el cual consiste en recuperar parte del calor perdido en los gases de escape. Para ello, se utiliza una o varias regeneraciones o intercambiadores de calor entre la salida del compresor y la entrada a la cámara de combustión, calentándose el aire por la acción de los gases de escape de las turbinas.

En los motores de las turbinas de gas, la temperatura de los gases de escape que salen de la turbina suelen ser bastante mayor que la temperatura del aire que abandona el compresor. Por consiguiente, el aire de alta presión que sale del compresor puede calentarse transfiriéndole calor de los gases de escape calientes en un intercambiador de calor a contraflujo, el cual se conoce también como un regenerador o recuperador, como se muestra en la figura 2.7.

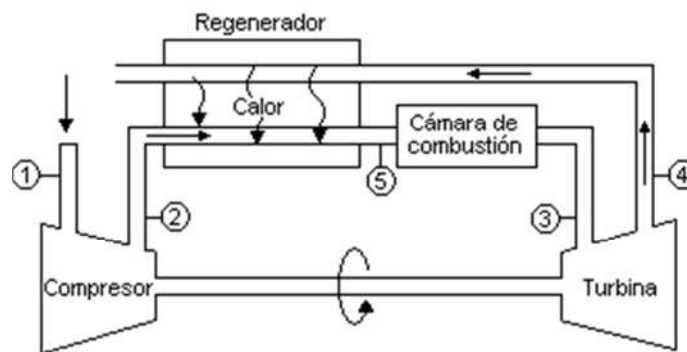


Figura 2.7 Ciclo Brayton con regeneración

La eficiencia térmica del ciclo Brayton aumenta debido a la regeneración, en virtud de que la porción de energía de los gases de escape que normalmente se libera en los alrededores ahora se usa para precalentar el aire que entra a la cámara de combustión. Esto, a su vez, disminuye los requerimientos de entrada de calor (y en consecuencia, de combustible) para la misma salida de trabajo neta. Observe, sin embargo que el empleo de un regenerador se recomienda sólo cuando la temperatura de escape de la turbina es más alta que la temperatura de salida del compresor. De otro modo, el calor fluiría en la dirección inversa (hacia los gases de escape), y reduciría eficiencia. Ésta relación se encuentra en las máquinas de turbina de gas que operan a relaciones de presión muy altas.

Es evidente que un regenerador con una eficacia más alta ahorrará una gran cantidad de combustible puesto, que precalentará el aire a una temperatura más elevada, antes de la combustión. Sin embargo, lograr una eficiencia mayor requiere el empleo de un regenerador más grande, el cuál implica un precio superior y provoca una caída de presión más grande. En

consecuencia, el uso de un regenerador con eficacia muy alta no puede justificarse económicamente a menos que los ahorros de combustible superen los gastos adicionales involucrados. La mayoría de los regeneradores utilizados en la práctica tienen eficiencias por debajo de 0.85.

Por consiguiente la eficiencia térmica de un ciclo Brayton con regeneración depende de la relación entre la mínima y la máxima temperaturas, así como la relación de presión.

2.3.8 CICLO BRAYTON CON INTERENFRIAMIENTO, RECALENTAMIENTO Y REGENERACIÓN

También puede aumentarse la eficiencia de las plantas con turbinas de gas, enfriando el aire de la salida del compresor e inyectándolo en otro compresor de alta presión, los inter enfriadores trabajan a contra corriente y por lo general las turbinas correspondientes son de dos o mas ejes y provistas también de regeneradores.

El trabajo neto de un ciclo de turbina de gas es la diferencia entre la salida de trabajo de la turbina y la entrada de trabajo del compresor, y puede incrementarse si se reduce el trabajo del compresor o si aumenta el de la turbina o ambos. El trabajo requerido para comprimir un gas entre dos presiones especificadas puede disminuirse al efectuar el proceso de compresión en etapas y al enfriar el gas entre ellas, es decir, si se emplea con presión de etapas múltiples con interenfriamiento. Cuando aumenta el número de etapas, el proceso de compresión se vuelve isotérmico a la temperatura de entrada del compresor y el trabajo de compresión disminuye.

De igual modo, la salida de trabajo de un turbina que opera entra dos niveles de presión aumenta al expandir el gas en etapas y recalentarlo entre ellas, si se usa expansión de múltiples etapas con recalentamiento. Esto se lleva a cabo sin elevar la temperatura máxima en el ciclo. Cuando aumenta el número de etapas, el proceso de expansión se vuelve isotérmico. El argumento anterior se basa en un simple principio: el trabajo de compresión o expansión de flujo permanente es proporcional al volumen específico de fluido. Por consiguiente, el volumen específico del fluido de trabajo debe ser los más bajo posible

durante un proceso de compresión y lo más alto posible durante un proceso de expansión. Esto es precisamente lo que logran el interenfriamiento y el recalentamiento.

El fluido de trabajo sale del compresor a una temperatura menor y de la turbina a una temperatura más alta, cuando se usa en interenfriamiento y recalentamiento. Esto hace que la regeneración sea más atractiva ya que existe un mayor potencial para ella. Además, los gases que salen del compresor pueden calentarse a una temperatura más alta antes de que entren a la cámara de combustión debido a la temperatura más elevada del escape de la turbina.

Un diagrama esquemático del arreglo físico de un ciclo de turbina de gas de dos etapas con interenfriamiento, recalentamiento y regeneración se muestra en la figura 2.8

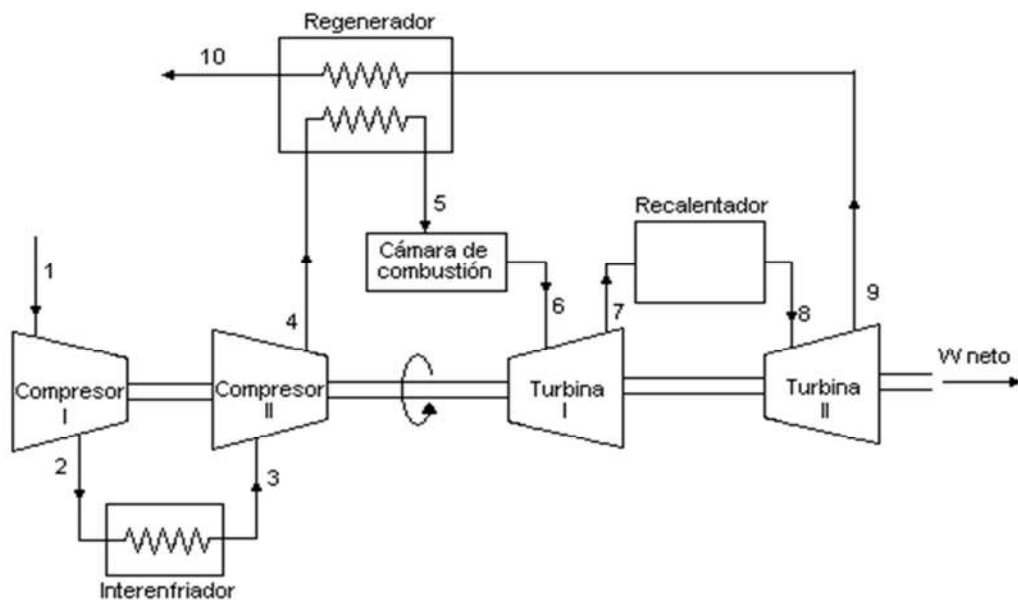


Figura 2.8 Ciclo Brayton con regeneración, recalentamiento y regeneración.

El gas entra a la primera etapa del compresor en el estado 1, se comprime de modo isentrópico hasta una presión intermedia P_2 ; se enfría hasta una presión constante hasta el estado 3 ($T_3 = T_1$) y se comprime en la segunda etapa isentrópicamente hasta la presión final P_4 . En el estado 4 el gas entra al regenerador, donde se calienta hasta T_5 a una presión constante. En un regenerador ideal, el gas saldrá del regenerador a la temperatura del escape de la turbina, es decir, $T_5 = T_9$. El proceso de adición de calor (o combustión) primario toma

lugar entre los estados 5 y 6. El gas entra a la primera etapa de la turbina en el estado 6 y se expande isoentrópicamente hasta el estado 7, donde entra al recalentador. Se recalienta a presión constante hasta el estado 8 ($T_8 = T_6$), donde entra a la segunda etapa de la turbina. El gas sale de la turbina en el estado 9 y entra al regenerador, donde se enfría hasta el estado 1 a presión constante. El ciclo se completa cuando el gas enfría hasta el estado inicial.

La relación de trabajo de retroceso de un ciclo de turbina de gas mejora debido al interenfriamiento y el recalentamiento. Sin embargo, esto no significa que la eficiencia térmica también mejorará. El hecho es que el interenfriamiento y el recalentamiento siempre disminuirán la eficiencia térmica a menos que se acompañen de la regeneración. Ya que el interenfriamiento disminuye la presión promedio a la cual se añade el calor, y el recalentamiento aumenta la temperatura promedio a la cual el calor se rechaza, Por tanto, en centrales eléctricas de turbina de gas, el interenfriamiento y recalentamiento se utilizan siempre en conjunción con la regeneración.

2.3.9 EFICIENCIA DEL CICLO

Se encuentra que la eficiencia de las máquinas de Brayton en ciclo cerrado dependen únicamente de la relación de presiones isoentrópicas. Si se aumenta la presión de entrada a la turbina, también se incrementa la temperatura en dicha entrada. La temperatura de entrada a la turbina, con frecuencia, está limitada por las propiedades de los álabes, lo que corresponde a un límite superior práctico en la eficiencia del ciclo. La máquina de Brayton con ciclo cerrado (adición externa de calor) ha recibido una atención considerable para emplearla en sistemas nucleares y, mas recientemente, en sistemas de energía solar a temperatura elevadas

Naturalmente las turbinas y los compresores reales no son isoentrópicos. Para los ciclos de aire estándar, la eficiencia de cada componente se incluye fácilmente en los análisis. El compresor y la turbina reales tienen misma presión de salida que los aparatos isentrópicos correspondientes (las eficiencias de la turbina y el compresor de Brayton generalmente se dan con respecto a los aparatos isoentrópicos y no a los isotérmicos).

CAPITULO 3

LA PLANTA DE TURBINA DE GAS CON PROPOSITO DE PROGRAMACION

3.1 INTRODUCCION

La programación es el proceso de diseñar, escribir, probar, depurar y mantener el código fuente de programas computacionales. El código fuente es escrito en un lenguaje de programación. El propósito de la programación es crear un programa que exhiba un comportamiento deseado. El proceso de escribir código requiere frecuentemente conocimientos en muchas áreas distintas, como el dominio de la aplicación, algoritmos especializados y lógica formal.

3.2 MATLAB

Matlab es una herramienta computacional que funciona en la plataforma de Windows

El nombre de MATLAB proviene de Matriz Laboratory, debido a que permite trabajar con facilidad y eficiencia con matrices, por lo mismo tiene un uso esencial tanto en industria como en lo académico para el desarrollo de investigación y elaboración de proyectos.

MATLAB es considerado un sistema interactivo, su elemento básico de datos es la matriz. Este lenguaje integra programación, visualización y cálculos en un ambiente sencillo. Este método resulta muy útil por la gran cantidad de los problemas numéricos que pueden resolver en poco tiempo, mientras que en programas C, BASIC o JAVA tardaría mucho más tiempo.

MATLAB ofrece una gran ventaja sobre otras herramientas, su uso es muy práctico y fácil, no necesita el uso de programación tradicional, los problemas y las soluciones son expresados

de la misma manera en que se escriben. Con el transcurso de tiempo MATLAB ha mejorado y evolucionado gracias a los programadores que han colaborado y contribuido a su desarrollo. Matlab se ha convertido para importantes universidades en una herramienta indispensable para diferentes cursos como; Métodos numéricos, algebra lineal, algebra aplicada, ecuaciones diferenciales por decir algunas áreas de ingeniería

Una de las llamadas principales son los toolboxes, que proporcionan una serie de soluciones. Este resultado es de gran ayuda para los usuarios, ya que son funciones que extienden el entorno de MATLAB. Pueden resolver problemas sobre procesamiento de señales, diseño de sistemas de control, simulación de sistemas dinámicos, identificación de sistemas, redes neuronales entre otros.

Ya existían otras herramientas y lenguajes computacionales anteriormente, pero los ingenieros y científicos tenían la necesidad de uno más sofisticado; los creadores de The Mathworks Jack Little y Cleve Moler observaron dichas necesidades y decidieron crear y desarrollar MATLAB, un lenguaje con mejores características que el FORTRAN o C, que representan los programas de cálculo matricial más avanzados y así un acceso sencillo al software matricial.

Desde sus inicios muchas personas han contribuido en el desarrollo de MATLAB. Simulink, es un programa de simulación de sistemas dinámicos no lineales. La primera versión fue programada por Steve Bangert, que escribió el interprete Jonh Little y Cleve Moler. Escribieron las rutinas de análisis guías de usuarios, los scripts. M y Steve Kleiman implemento los gráficos.

3.2.1 Matrices

Las matrices son parte esencial de Matlab, existen varias maneras de manipular las matrices, cuando se forman en MATLAB hay forma de extraer, insertar y arreglar los datos en la matriz, con estas características el funcionamiento se realiza de una forma más eficiente. Por medio de ésta herramienta, las matrices se pueden realizar de muchos tipos, el sistema A7,

aunque no necesariamente deben de ser cuadradas, pueden tener más columnas o filas. Las dimensiones pueden ser creadas dependiendo del usuario.

3.2.2 Funciones Principales

En MATLAB hay 20 categorías de funciones, de las cuales unas están escritas en forma de scripts.m y otras están implementadas en el intérprete. Los ficheros.m están puestos en 20 direcciones, cada uno de estos contiene los scripts asociados a cada categoría. Cuando se inicializa Matlab aparece una o varias ventanas dependiendo de como se tenga configurado y aparece una pantalla donde se puede interactuar. Aparece como >> y al final se encuentra el cursor donde toma tiempo para resolver preguntas

Por ejemplo:

```
>>8+8
```

```
Ans=
```

```
16
```

En la parte de las ventanas, MATLAB pone todos los comandos que han sido utilizados al igual que los valores de cualquier variable que existe.

Los comandos se encuentran en el espacio de trabajo de MATLAB y pueden ser utilizadas las veces que sean necesarias. Estas variables se pueden salvar, ser utilizadas posteriormente y guardarse en el menú File. Esta herramienta contiene variables ya predeterminadas como son el caso de sqrt, pi, eps, etc.

MATLAB tiene la capacidad de reconocimiento, para realizar operaciones aritméticas bajo los siguientes símbolos: suma (+), resta (-), multiplicación (*), división (/) y potencia (^), estas expresiones son las más básicas y son evaluadas de izquierda a derecha, dando prioridad a las potencias, después multiplicaciones, división y al final a la suma y resta. La puntuación de (;) significa que sea línea no será impresa y (%) se usa para escribir algún comentario. Puede trabajar con funciones más complejas como lo son los números imaginarios, reales con

funciones trigonométricas y para términos de electrónica los números imaginarios pueden ser denotados por la letra j .

3.2.3 Gui y Guide

Es el método para que el usuario pueda interactuar o conectarse con la computadora y tiene como finalidad comunicarse el intercambiar información.

El interface grafico para el usuario o GUI (graphical user interface) sirve para formar o introducir objetos gráficos, se usara como herramienta principal para darle un nuevo diseño al programa Elip3, como las ventanas, iconos, botones, menús y texto. La forma más útil de utilizar este método es con el mouse. El principal objetivo de utilizar una interface grafica, es para realizar herramientas que sean eficaces con la finalidad de hacer didácticos los programas

GUIDE (GUI Development Environment) es un conjunto de herramienta que se presenta en Matlab. Guis es un paquete interactivo diseñado para realizar los GUIs más fácil para el usuario. Este paquete de herramientas cuenta con un papel de control, que sirve para crear, colocar y ajustar la medida de algún objeto.

3.2.4 Diseño de Filtros en Matlab

Uno de los problemas más frecuentes en la ingeniería de Telecomunicaciones es la necesidad de separar diferentes componentes frecuencias de una señal. A este proceso se le denomina filtrado y al subsistema encargado de realizar dicha tarea, filtro; cuya diferentes aplicaciones sería innumerable.

Habitualmente se emplean para tareas tales como la eliminación de ruido o interferencias, en procesos de modulación y limitación del ancho de banda de señales, etc. Independientemente de su función, a la hora de introducir un filtro en un sistema de cualquier tipo, es necesario conocer de antemano las especificaciones que dicho filtro debe verificar, una vez conocidos estas, se procede a diseñar el filtro apropiado. Por último, dicho filtro es construido o

programado (dependiendo de si se trata de un filtro analógico o digital) e insertado en el punto apropiado del sistema.

3.2.5 Simulink en Matlab

Simulink es una herramienta para el modelaje, análisis y simulación de una amplia variedad de sistemas físicos y matemáticos, inclusive aquellos con elementos no lineales y aquellos que hacen uso de tiempos continuos y discretos. Como una extensión de MatLab, Simulink adiciona muchas características específicas a los sistemas dinámicos, mientras conserva toda la funcionalidad de propósito general de MatLab. Así, Simulink no es completamente un programa separado de MatLab, sino un anexo a él. El ambiente de MatLab está siempre disponible mientras se ejecuta una simulación en Simulink.

Simulink tiene dos fases de uso: la definición del modelo y el análisis del modelo. La definición del modelo significa construir el modelo a partir de elementos básicos contruidos previamente, tal como, integradores, bloques de ganancia o servomotores. El análisis del modelo significa realizar la simulación, linealización y determinar el punto de equilibrio de un modelo previamente definido.

Para simplificar la definición del modelo Simulink usa diferentes clases de ventanas llamadas ventanas de diagramas de bloques. En estas ventanas se puede crear y editar un modelo gráficamente usando el mouse. Simulink usa un ambiente gráfico lo que hace sencillo la creación de los modelos de sistemas.

Después de definir un modelo este puede ser analizado seleccionando una opción desde los menús de Simulink o entrando comandos desde la línea de comandos de MatLab.

Simulink puede simular cualquier sistema que pueda ser definido por ecuaciones diferenciales continuas y ecuaciones diferenciales discretas. Esto significa que se puede modelar sistemas continuos en el tiempo, discretos en el tiempo o sistemas híbridos.

Simulink usa diagramas de bloques para representar sistemas dinámicos. Mediante una interface gráfica con el usuario se pueden arrastrar los componentes desde una librería de bloques existentes y luego interconectarlos mediante conectores y alambre. La ventana principal de Simulink se activa escribiendo simulink en la línea de comandos de MatLab, y se muestra a continuación:

Acceso a la librería de bloques de Simulink:

Para acceder a la librería de Simulink se debe abrir inicialmente la ventana principal de Matlab (Matlab Command Window). En esta se puede ejecutar el comando “simulink” o hacer clic en el símbolo correspondiente en la barra de herramientas en la parte superior de esta ventana, como se muestra en la figura 3.1 Al hacer esto aparecerá el listado de las librerías correspondientes a simulink, donde se podrá tener acceso a todos los bloques que brinda esta herramienta. Para abrir una nueva hoja de trabajo se deberá acceder a través de: File New Model, o hacer clic en el símbolo de “hoja nueva”.

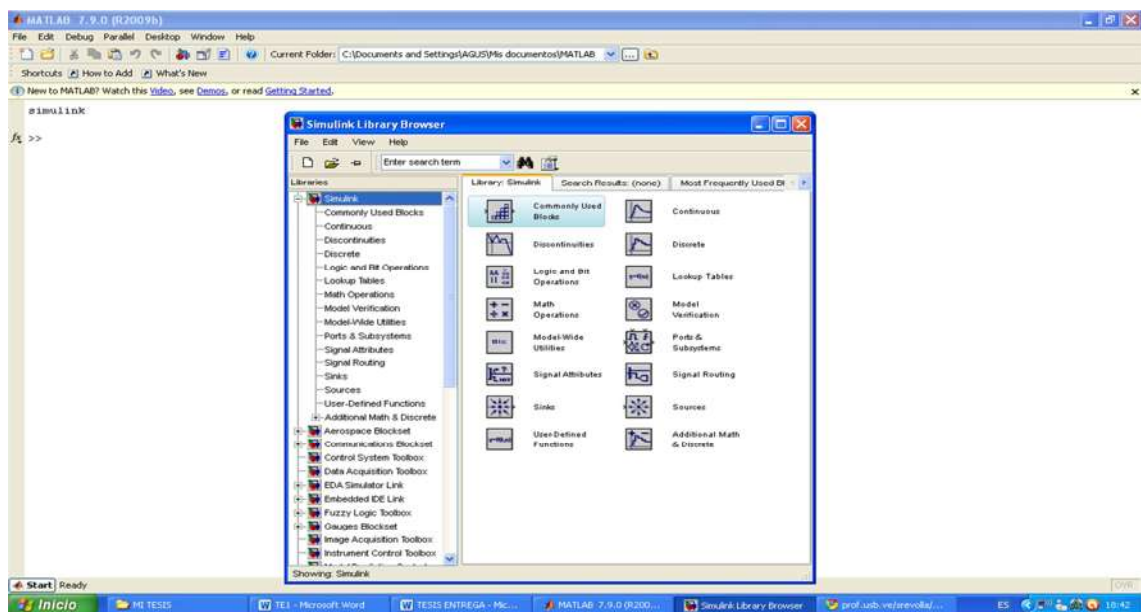


Figura 3.1 Simulink Library Browse

La librería “Simulink” contiene los bloques necesarios para simular un sistema mediante técnicas convencionales, las demás librerías son herramientas adicionales que se utilizan para

aplicaciones específicas de control avanzado. En la Figura 3.2 se muestra el contenido de la librería Simulink.

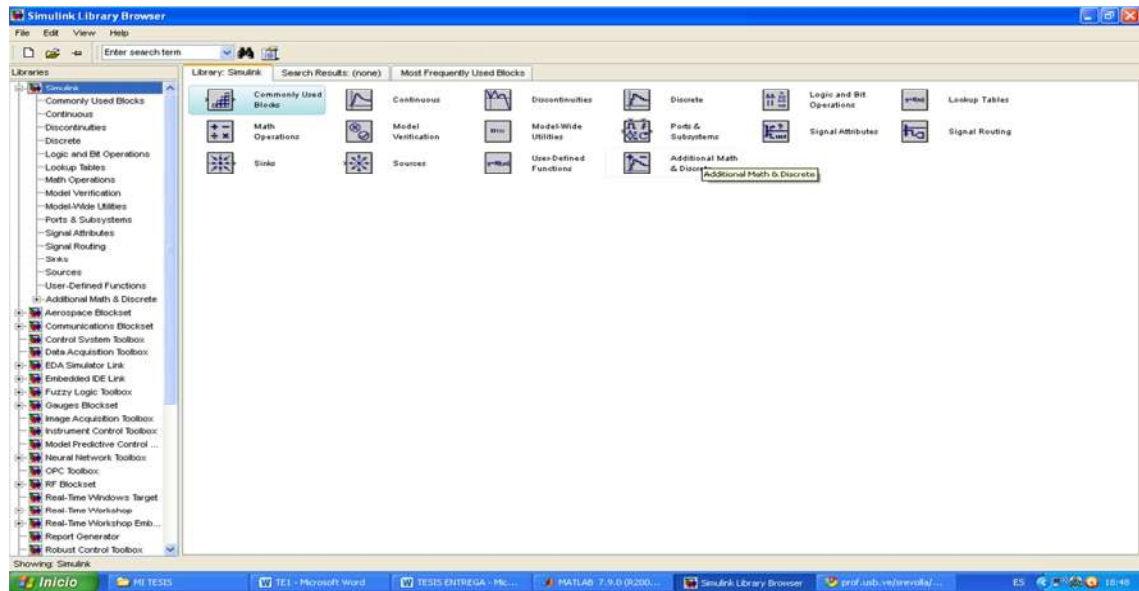


Figura 3.2 Librería Simulink.

En la figura 3.3 se pueden observar los bloques más utilizados en la simulación de procesos. Estos se encuentran en hacer clic en el signo (+) de cada librería. Pueden ser utilizados al hacer clic sobre ellos y arrastrándolos sobre la hoja de trabajo.

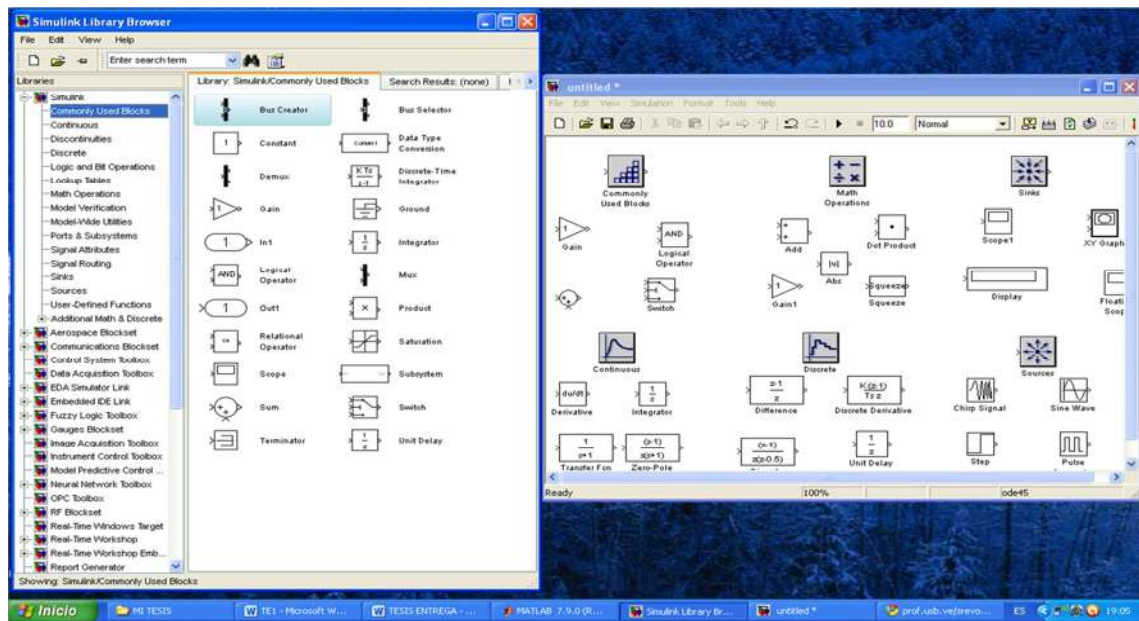


Figura 3.3 Bloques más utilizados en la librería Simulink

3.3 MATLAB COMO HERRAMIENTA DE PROGRAMACION

Un programa consiste en una serie de instrucciones que se ejecutan secuencialmente (una detrás de otra). Por lo tanto, es requisito previo conocer esas instrucciones, y cómo escribirlas correctamente (*sintaxis*). Alguna información al respecto puede encontrarse en la página Web Introducción a Matlab. Especialmente necesario es haber confeccionado previamente un *script* (allí se indica cómo hacerlo).

3.3.1 Nociones preliminares

La elaboración de un programa para Matlab es muy sencilla. Basta abrir un documento de texto (se puede hacer con cualquier editor, Matlab trae uno incorporado), escribir las instrucciones tal como se pondrían en la ventana de comandos y guardar el documento con la extensión .m (por ejemplo: miprog.m). Matlab reconoce automáticamente los ficheros que tienen extensión .m: si en la ventana de comandos se introduce

»miprog

las órdenes almacenadas en el fichero miprog.m se ejecutarán, una tras otra. A ese recorrido a través de las instrucciones se le conoce con el nombre de *flujo*. Los comandos de un programa se denominan también *sentencias*.

El hecho de guardar una serie de instrucciones (el *código*) en un fichero tiene de por sí algunas ventajas: evita el repetir las órdenes en la ventana de comandos. Pero la potencia de un programa se pone de manifiesto si en él se contienen instrucciones que controlan qué sentencias se ejecutan en cada circunstancia. Así, un programa puede "decidir", llegado a un punto, ejecutar unos comandos u otros en función del valor que tome una variable, por poner un caso.

3.3.2 Control de flujo

Al proceso de toma de decisiones se le llama control del flujo. Antes de ponerse a escribir el programa, sobre todo si es un poco largo o complejo, es útil trazar un esquema, en lenguaje corriente, de lo que se quiere hacer. A eso se le denomina un diagrama de flujo. Si lo que se pretende está claro, escribir el programa se reduce a traducir el diagrama de flujo del castellano al lenguaje de Matlab.

Veamos un caso simple figura 3.4. Construyamos el diagrama de flujo de un programa que escoja un número al azar del 0 al 9 y nos pida que lo adivinemos. Una vez escogido el número, el programa debe informar si hemos acertado o no. El diagrama de flujo correspondiente es dado en la figura 3.4.



Figura 3.4 Diagrama de flujo.

En un diagrama de flujo ha de buscarse la claridad, la concisión, el rigor. Con un buen diagrama de flujo, gran parte del trabajo está hecho. Puede ser tentador comenzar a escribir directamente el programa en el editor, con la esperanza de hacerlo todo bien a la primera. Suele ser más eficaz, sin embargo, escribir antes el diagrama de flujo, para luego intentar pasarlo al lenguaje informático elegido.

3.3.3 Condiciones

Son las preguntas básicas a las que se puede responder sí o no. Para implementar el control del flujo, son muy útiles unas expresiones que permiten comparar dos variables entre sí o una variable con un valor fijo. En un programa, a veces es necesario preguntarse: ¿es x mayor que y? Pues si x es mayor que y, entonces..., y si no, ... ; o bien: caso de que la variable x sea menor que cero, hacer tal cosa.

Las condiciones se construyen con operadores relacionales, como se muestra en la tabla 3.1

>	mayor que
<	menor que
=	igual que
≠	diferente que
≤	menor o igual que
≥	mayor o igual que

Tabla 3.1 Condiciones

Una condición, como se ha indicado, sólo admite dos respuestas: verdadero o falso. Así, a la pregunta ¿es x mayor o igual que y?, que en el lenguaje de Matlab se expresa $x \geq y$, sólo caben dos respuestas posibles: sí, es cierto, x es mayor o igual que y; o bien, no, es falso, x no es mayor o igual que y.

Dos observaciones. La primera: el operador relacional *igual* que se construye con dos símbolos `==`. El motivo es el siguiente: si se escribe `x=3`, el resultado es que se le asigna a x el valor 3. No se hace ninguna pregunta. Si lo que se desea es preguntar ¿es x igual a 3?, no se puede escribir `x=3`, pues en este caso x tomaría el valor 3, independientemente de lo que valiera antes. En cambio `x==3` es el análogo en lenguaje informático a la pregunta: ¿es x igual a 3? Tras la pregunta `x==3` la variable x sigue valiendo lo mismo que antes. La segunda observación es una pequeña astucia: la tilde `~` del operador *diferente* que se consigue apretando la tecla Alt y -sin soltarla- escribiendo con el teclado el número 126. En algunos sistemas operativos, también sirve apretar AltGr y, sin soltarla, apretar la tecla 4.

Las condiciones se pueden agrupar en construcciones lógicas: condición1 Y condición2, condición1 O condición2, etcétera. Consúltese el manual de Matlab en lo relativo a este tópico.

En resumen: con las expresiones relacionales se pueden realizar preguntas de respuesta unívoca (verdadero o falso), que permitan luego tomar una decisión.

3.3.4 Ramificaciones

Dependiendo de una condición, el programa decide el curso que seguirá

El resultado de una condición permite tomar una decisión, es decir, si la condición es verdadera se ejecutan determinadas sentencias. El diagrama de la figura 3.5 el flujo se ramifica:



Figura 3.5 Ramificación if

La ramificación más simple, expresada en este diagrama de flujo, se obtiene con la siguiente sintaxis:

```
if (condición)
```

```
    sentencias
```

```
end
```

Lo que se muestra, hay que sustituirlo por las expresiones adecuadas if y end son palabras clave del lenguaje informático, y no se pueden utilizar para otra cosa, por ejemplo, una variable no puede -no debería- llamarse if.

Un caso concreto:

```
if(length(sitios)>1)
```

```
    recta=polyfit(x,y,1);
```

```
end
```

Leído en lenguaje corriente: si la longitud del vector sitios es mayor que 1, se realiza el ajuste lineal indicado en la instrucción `recta=polyfit(x,y,1)`. Caso contrario (si la longitud del vector sitios es menor o igual a 1) esa instrucción no se ejecuta (y el programa sigue en la instrucción que venga después de end).

Existe la posibilidad de ejecutar ciertas sentencias si la condición es verdadera, y otras diferentes si la condición es falsa:

if (condición)

sentencias A

else

sentencias B

end

dicho de otra manera: si la condición se cumple, se ejecutan las *sentencias A*; si no, se ejecutan las *sentencias B*, como se muestra en el diagrama de la figura 3.6



Figura 3.6 Diagrama de flujo de una ramificación if / else

Una vez se hayan ejecutado las sentencias que correspondan (las sentencias A si la condición es verdadera, las sentencias B en caso contrario) el programa continúa con las instrucciones que vengan después de end.

Es de señalar que las ramificaciones se pueden anidar (una condición dentro de otra: dentro de las sentencias A o de las sentencias B en el anterior diagrama de flujo). El código se vuelve más complejo. También se pueden construir ramificaciones con varias posibilidades: la sintaxis hace uso de las palabras clave if / elseif / elseif / ... / else / end. Se remite para una explicación más detallada a la ayuda de Matlab (término de búsqueda: elseif).

Otra posibilidad de ramificación múltiple la ofrece la construcción switch. La sintaxis es:

```
switch variable
```

```
case valor1,
```

```
    sentencias A
```

```
case valor2,
```

```
    sentencias B
```

```
case ...
```

```
    ...
```

```
end
```

(Como antes, lo escrito en cursiva debe sustituirse por las expresiones adecuadas). Las palabras clave son switch, case, end.

La ramificación switch opera de la siguiente manera. Al llegar a la expresión switch variable, si variable tiene el valor *valor1* se ejecutan las sentencias A; si variable toma el valor *valor2*, las sentencias B; y así sucesivamente. Es importante notar que la variable sólo debe tomar unos pocos valores: *valor1*, *valor2*, etc. para que el programa se ramifique en unas pocas ramas. No tiene sentido intentar una ramificación switch con una variable que pueda tomar un número infinito de valores.

3.3.5 Bucles

¿Varias secuencias que se ejecutan repetidas veces? Un bucle

Hay ocasiones en las que es necesario repetir el mismo conjunto de instrucciones muchas veces, cambiando algunos detalles. Pongamos un caso. Sea un vector $x(i)$ con n componentes; se quiere construir la "media móvil" de x con tres elementos, que consiste en ir tomando la

media aritmética de cada tres puntos consecutivos. Es decir: desde $i=2$ hasta $n-1$, $media(i-1)=(x(i)+x(i-1)+x(i+1))/3$.

(Detalles: se empieza a contar en $i=2$ porque para el primer elemento de x no existe el elemento anterior; y se acaba en $n-1$ por análoga razón; además, el primer componente de media es el correspondiente a $i=2$, de ahí que se asigne el resultado a $media(i-1)$).

Eso es lo que se consigue con un bucle **for**, cuya sintaxis es:

```
for contador=inicio:paso:fin,
```

```
    sentencias
```

```
end
```

Las palabras claves son **for** y **end**. Este bucle pone en marcha una variable llamada contador que va desde inicio hasta fin de paso en paso. Cada vez que las sentencias se ejecutan, contador aumenta en un valor paso (que si se omite, se le asigna automáticamente el valor 1). Cuando contador llega al valor fin, el bucle se acaba y el programa continúa con las sentencias que haya más allá de **end**, como se muestra en la siguiente figura 3.7



Figura 3.7 Diagrama de flujo de un bucle for

Obsérvese que un bucle como el indicado se implementa un número fijo de veces: desde inicio hasta fin de paso en paso. En ocasiones, sin embargo, no se sabe de antemano cuántas veces habrá que ejecutar las sentencias del bucle. Por ejemplo: si es necesario repetir

una serie de sentencias hasta que se cumpla una determinada condición, y no se sabe a priori cuántas veces será necesario realizar esas operaciones. En ese caso se emplea un bucle while:

```
while(condición),  
  
    sentencias  
  
end
```

En la siguiente figura 3.8 el bucle que ejecuta las sentencias mientras la condición sea verdadera.



Figura 3.8 Diagrama de flujo de un bucle while

Es posible sustituir la condición por una variable. En efecto: una variable que toma el valor cero corresponde a una condición falsa. Si la variable toma un valor diferente de cero, es equivalente a una condición verdadera. Así, se puede escribir

```
x=10;  
while(x)  
    sentencias  
    x=x-1;  
end
```

Para $x=10$, la "condición" es verdadera puesto que x es diferente de cero. Nótese que el contador x hay que modificarlo manualmente (línea $x=x-1$) puesto que, al revés que lo que ocurre con el bucle for, este no gestiona ningún contador. En cuanto x tome el valor cero, la "condición" es falsa y el bucle acaba.

Atención: es fácil caer en bucles infinitos. En el ejemplo anterior, si falta la línea $x=x-1$ y las *sentencias* no modifican el valor de x , la "condición" siempre será cierta (pues $x=10$) y el programa nunca saldrá del bucle: ejecutará una y otra vez las *sentencias*. El programa se "cuelga", y hay que interrumpirlo desde el teclado apretando las teclas Ctrl+C.

3.4 CAMPO DE APLICACION Y ESPECIFICACIONES DEL PROGRAMA

Con el desarrollo de este programa se pretende analizar y simular centrales eléctricas con turbinas de gas, este programa fue diseñado de tal manera que le pida al usuario datos específicos en cada uno de los diferentes puntos ubicados en la planta, mediante esos puntos obtenidos y bajo las condiciones del ciclo brayton según sea el caso el programa determina la eficiencia, trabajo neto por la turbina y de igual manera algunas variables que se obtienen en condiciones del ciclo brayton. Este programa también describe graficas basadas de igual manera en el ciclo brayton.

Este es de gran ayuda ya que, el usuario lo único que proporciona son algunos datos para poder obtener la eficiencia, una de las grandes ventajas de estos programas en específico es que al inicio de la ventana principal de matlab, cuando se ejecuta la función principal del programa como primer paso lo que hace es arrogarlos en la pantalla principal el diagrama de la planta a analizar según sea el caso

3.5 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

Los programas están elaborados en archivo con extensión .m esta extensión reconoce automáticamente los ficheros que tienen extensión .m: si en la ventana de comandos se

introduce, el nombre de la función (programa) matlab inicia haciendo un recorrido de inicio hacia el final.

La estructura del programa principal está elaborado de una serie de sentencias e instrucciones que hace un llamado a uno de los dos sub-programas dependiendo de cuál es el que desea simular el usuario, como se muestra en la figura 3.9.

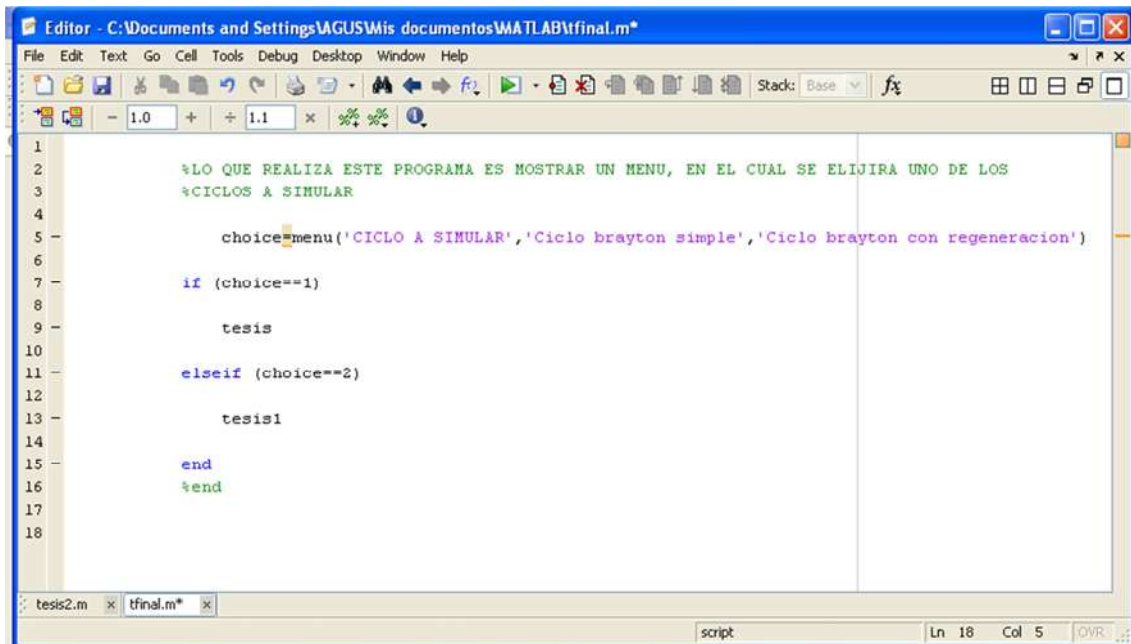


Figura 3.9 Estructura de programa principal

Una vez introduciendo en la ventana principal el nombre del programa, lo que realiza es mostrar un menú, lo cual le da al usuario la oportunidad de elegir cuál de los ciclos desea simular como se muestra en la figura 3.10.

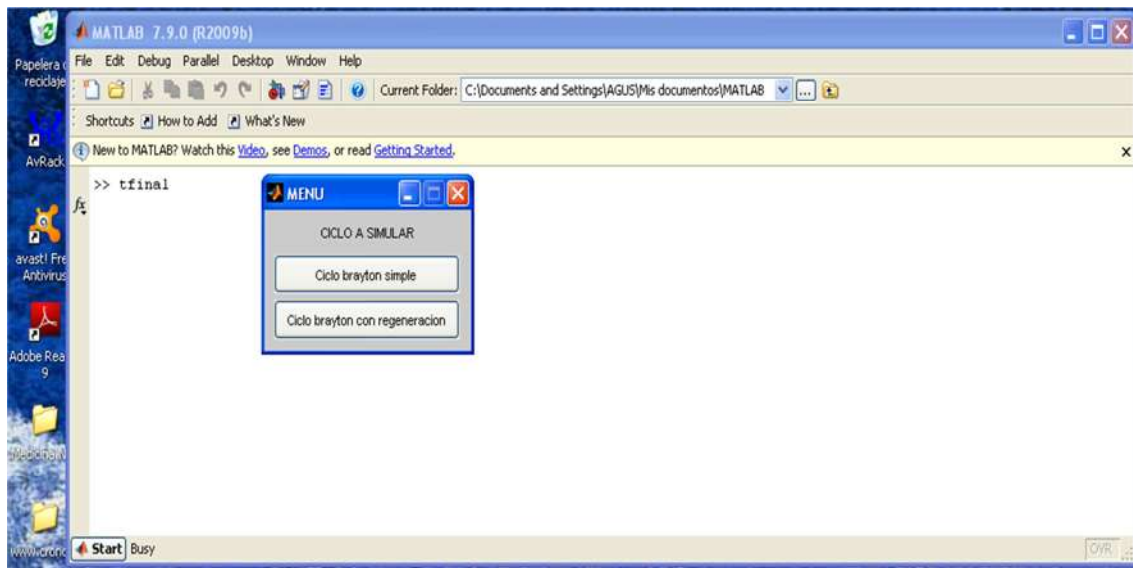


Figura 3.10 Menú que muestra matlab al ejecutar el programa

El programa principal mediante el menú hace un llamado a uno de los dos sub-programas. En seguida se muestra a detalle el código fuente para el sub-programa que simula el ciclo brayton simple.

Iniciando un recorrido del sub-programa como primera parte tenemos lo siguiente:

```
figure(1);
image=imread('BRAYTONSIMPLES12.bmp');
[m,n]=size(image);
imwrite(image,'BRAYTONSIMPLES12.bmp');
imshow(image)
```

En esta parte, con los comandos mostrados lo que hace el programa es imprimirnos la imagen donde se encuentra el diagrama de la planta que se está analizando, para esto la imagen tiene que estar guardada en la misma carpeta donde se encuentra guardado el programa.

Tomando como referencia que el usuario desea simular el ciclo brayton simple lo que nos muestra matlab es la siguiente figura 3.11

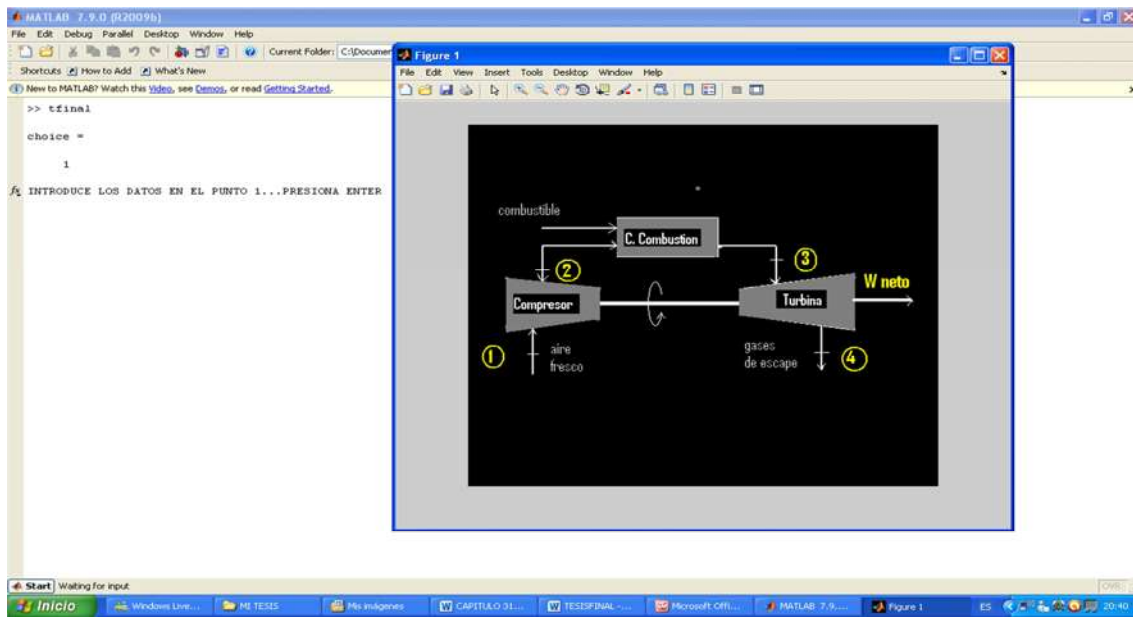


Figura 3.11 Esquema de la planta que muestra Matlab

Continuando con la estructura del programa como segunda parte tenemos:

```
input('INTRODUCE LOS DATOS EN EL PUNTO 1...PRESIONA ENTER')
p1=input ('introduce P1=');
t1=input ('introduce T1=');
s1=input ('introduce S1=');
v1=input('introduce V1=');
input('INTRODUCE LOS DATOS EN EL PUNTO 2...PRESIONA ENTER')
p2=input ('introduce P2=');
t2=input ('introduce T2=');
v2=input ('introduce V2=');
%p3=input ('introduce P3=');
input('INTRODUCE LOS DATOS EN EL PUNTO 3...PRESIONA ENTER')
t3=input ('introduce T3=');
s3=input ('introduce S3=');
v3=input ('introduce V3=');
input('INTRODUCE LOS DATOS EN EL PUNTO 4...PRESIONA ENTER')
t4=input ('introduce T4=');
v4=input ('introduce V4=');
k=input('introduce k=');
Cp=input('introduce Cp=');
```

En esta parte lo que realiza el programa es pedir los datos necesarios en cada punto de la planta al usuario, para calcular la eficiencia y el trabajo neto por la turbina. En la figura 3.12

Se muestra la secuencia de como el programa va pidiendo al usuario los datos necesarios en cada uno de los puntos

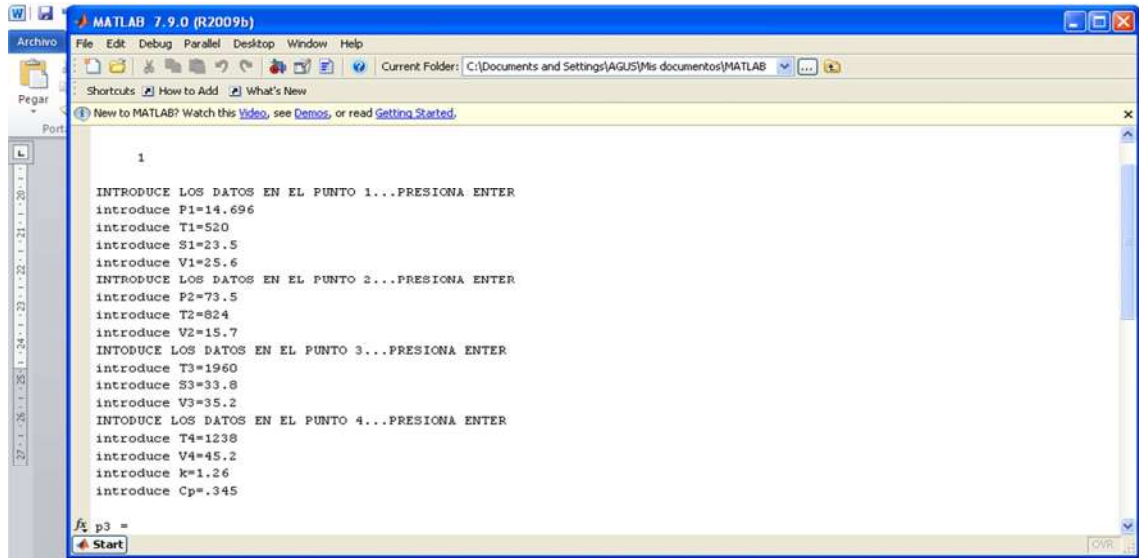


Figura 3.12 Secuencia de los datos requeridos por Matlab

En tercera parte se muestra lo siguiente:

```

p4=p1;
p3=p2;
p3
p4
s2=s1;
s4=s3;
s2
s4

```

Es importante mencionar que en el ciclo brayton algunas presiones, entropías son iguales, es por eso que para no introducir bastantes datos se hace esa igualdad dentro del programa, como se muestra anteriormente.

Continuando con la estructura se muestra la importancia y el propósito del programa.

```

W=Cp*(t3-t4+t2-t1)
e=1-((t4-t1)/(t3-t2))

```

En esta parte se calcula el trabajo y la eficiencia de la planta que se este analizando, que es la parte prioritaria del programa. Una vez introducido los datos necesarios en la ventana

principal de matlab, lo que realiza es imprimirmos los resultados como se muestra en la figura 3.13.

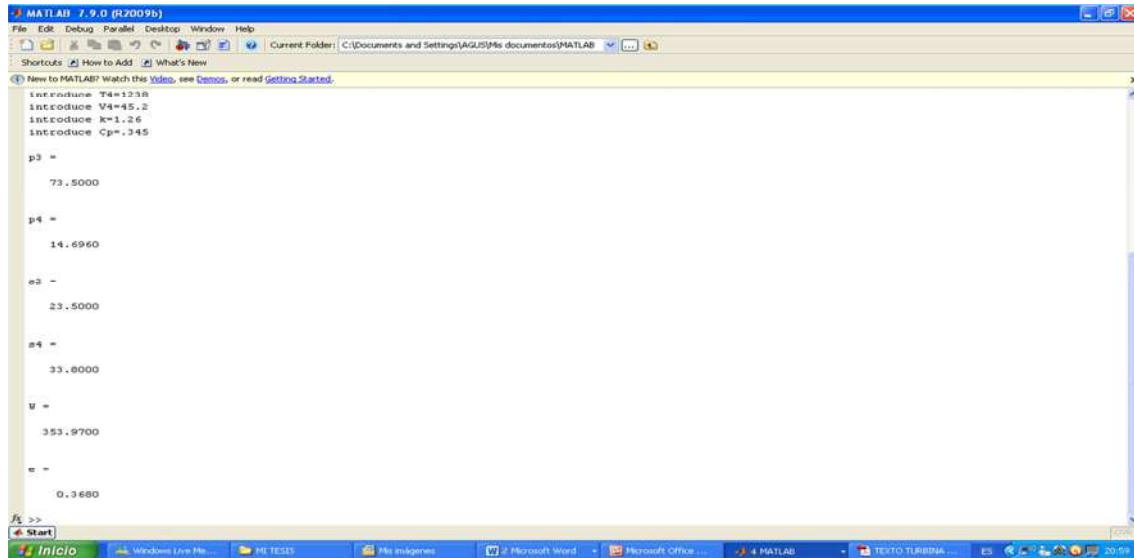


Figura 3.13 Resultados que proporciona el programa

En la siguiente parte del programa es necesario para poder realizar las graficas que rigen el ciclo brayton.

```
d=[s1 s2 s3 s4 s1];
r=[t1 t2 t3 t4 t1];
p=[p1 p2 p3 p4 p1];
o=[v1 v2 v3 v4 v1];
```

Es necesario reacomodar las variables anteriores en forma de vector y asignándoselas a otra variable para poder efectuar la gráfica.

En la siguiente parte del programa se muestra el código necesario para que el programa arroje en pantalla principal la grafica TEMPERATURA-ENTROPIA:

```
figure(2);
plot(d,r,'b')
xlabel('ENTROPIA')
ylabel('TEMPERATURA')
title('GRAFICA DE TEMPERATURA vs ENTROPIA')
```

Lo cual es necesario para analizar los resultados mediante la gráfica arrogada por el programa, como se muestra en la siguiente figura 3.14.

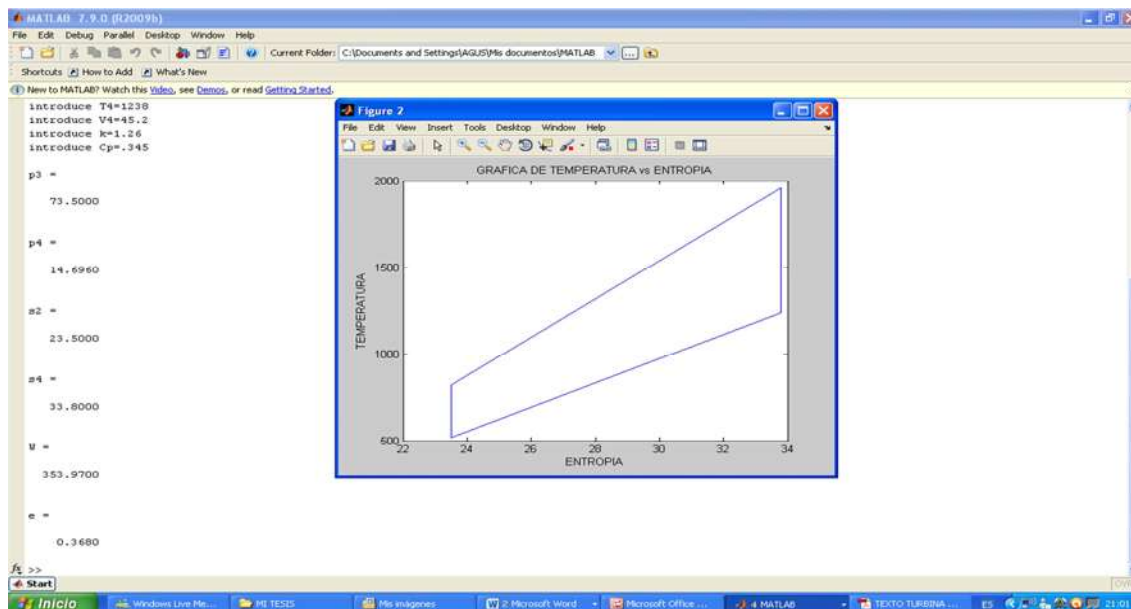


Figura 3.14 Gráfica que rige el ciclo brayton Temperatura-Entropía

De la misma manera que lo anterior el siguiente código arroja la grafica que la rige el ciclo brayton pero para esta es PRESION-VOLUMEN

```

figure(3);
plot(o,p,'g')
xlabel('VOLUMEN')
ylabel('PRESION')
title('GRAFICA DE PRESION vs VOLUMEN')
    
```

De igual manera es de gran importancia ya que mediante la gráfica podemos analizar como se esta comportando la planta eléctrica, como podemos ver en la figura 3.15

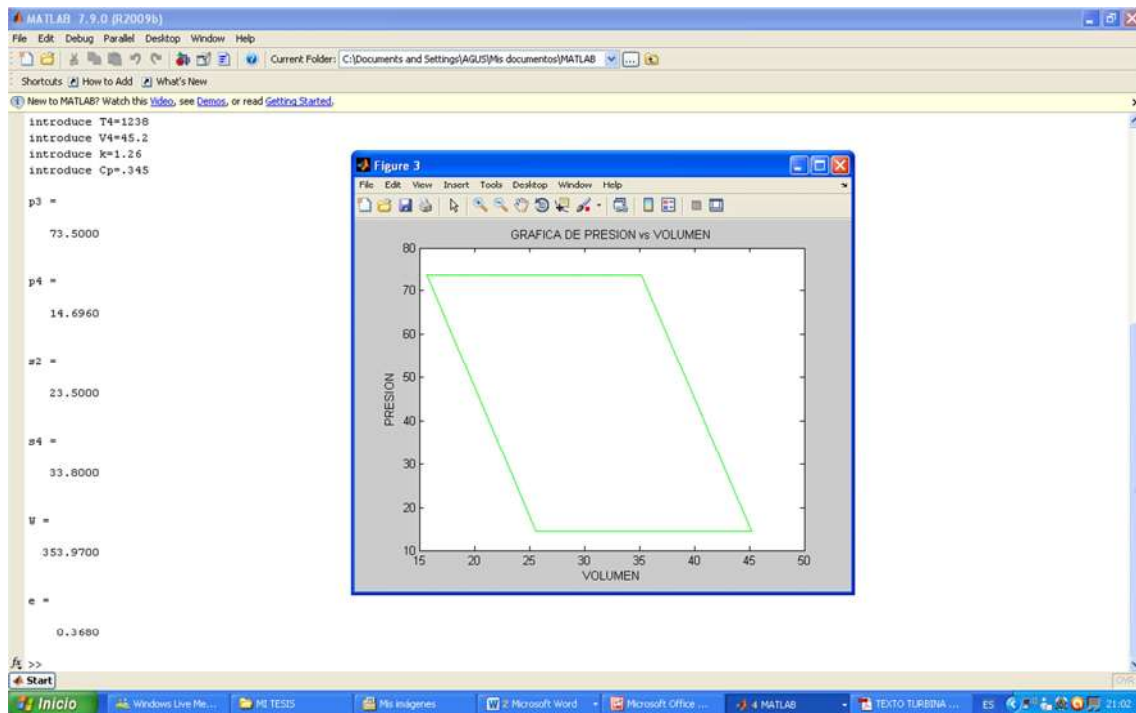


Figura 3.15 Gráfica que rige el ciclo brayton Presión-Volumen

En la figura 3.16 y 3.17 se muestra en su totalidad la estructura del sub-programa para el ciclo brayton simple.

```

1 %AGUSTIN ARRIAGA HAYA
2 %PROGRAMA QUE SIMULA UNA CENTRAL ELECTRICA CON TURBINA DE GAS
3 %BASADA EN EL CICLO BRAYTON SIMPLE
4
5 figure(1);
6 image=imread('BRAYTONSIMPLES12.bmp');
7 [m,n]=size(image);
8 imwrite(image,'BRAYTONSIMPLES12.bmp');
9 imshow(image)
10
11 input('INTRODUCE LOS DATOS EN EL PUNTO 1...PRESION A ENTER')
12 p1=input('introduce P1=');
13 t1=input('introduce T1=');
14 s1=input('introduce S1=');
15 v1=input('introduce V1=');
16 input('INTRODUCE LOS DATOS EN EL PUNTO 2...PRESION A ENTER')
17 p2=input('introduce P2=');
18 t2=input('introduce T2=');
19 v2=input('introduce V2=');
20 p3=input('introduce P3=');
21 input('INTRODUCE LOS DATOS EN EL PUNTO 3...PRESION A ENTER')
22 t3=input('introduce T3=');
23 s3=input('introduce S3=');
24 v3=input('introduce V3=');
25 input('INTRODUCE LOS DATOS EN EL PUNTO 4...PRESION A ENTER')
26 t4=input('introduce T4=');
27 v4=input('introduce V4=');
28 k=input('introduce k=');
29 Cp=input('introduce Cp=');
30 p4=p1;
31 p3=p2;
32 p3
33 p4
34 s2=s1;
35 s4=s3;
    
```

Figura 3.16 Primera parte del programa para ciclo brayton simple

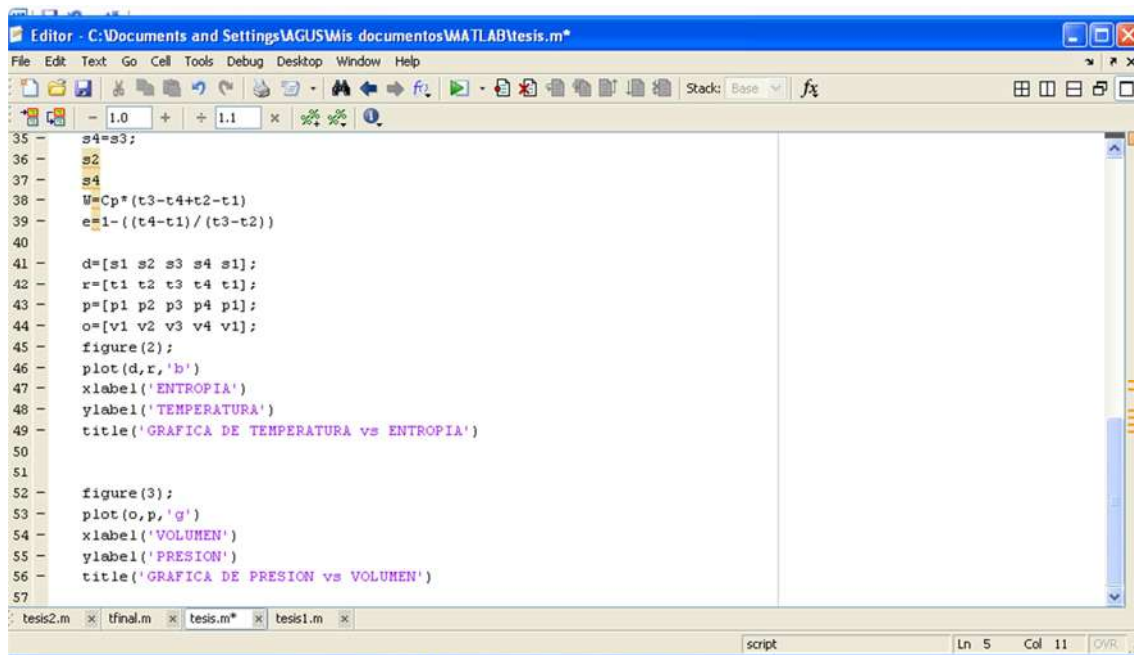


Figura 3.17 Segunda parte del programa para el ciclo brayton simple

En la parte anterior se explico detalladamente cada parta del sub-programa y además lo que realiza dentro del.

El programa principal como se mencionó anteriormente hace un llamado a dos sub-programas, ciclo brayton simple y ciclo brayton con regeneración, ahora se explicará a detalle si el usuario desea simular ciclo brayton con regeneración.

La estructura de este programa es muy similar al programa anterior y por lo tanto arroja los mismos resultados y gráficas que rigen el ciclo brayton con regeneración.

Al ejecutar el programa en la ventana principal de matlab, lo que muestra es el menú, donde da la oportunidad de elegir el ciclo a simular como se muestra en la figura 3.18.

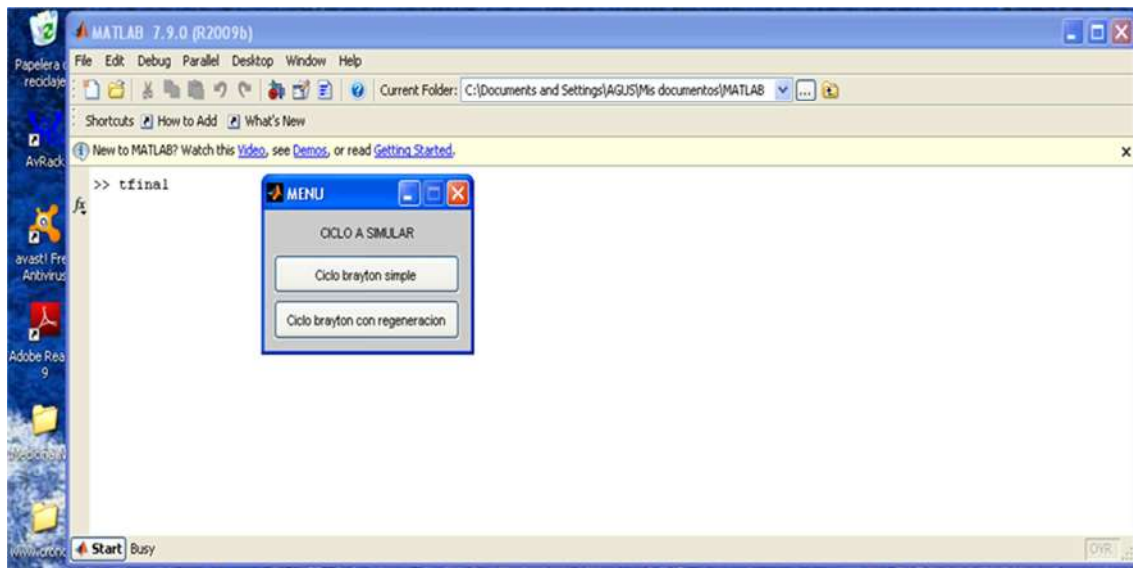


Figura 3.18 Menú que muestra matlab al ejecutar el programa

Tomando como referencia que el usuario decidió simular el ciclo brayton con regeneración y al dar clic en el menú, lo que muestra matlab es la siguiente figura 3.19.

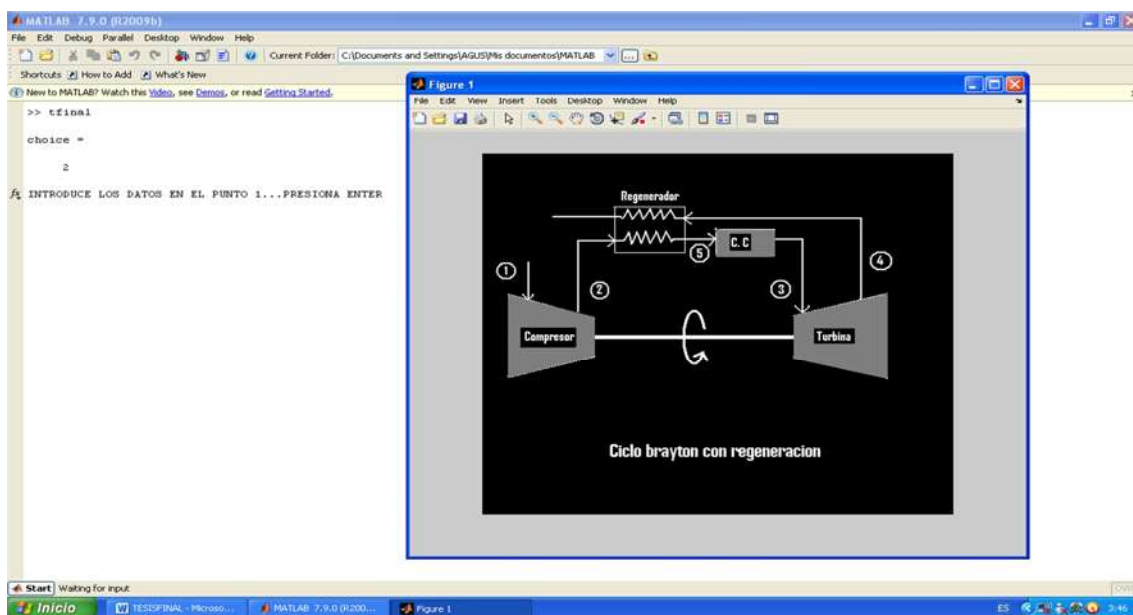
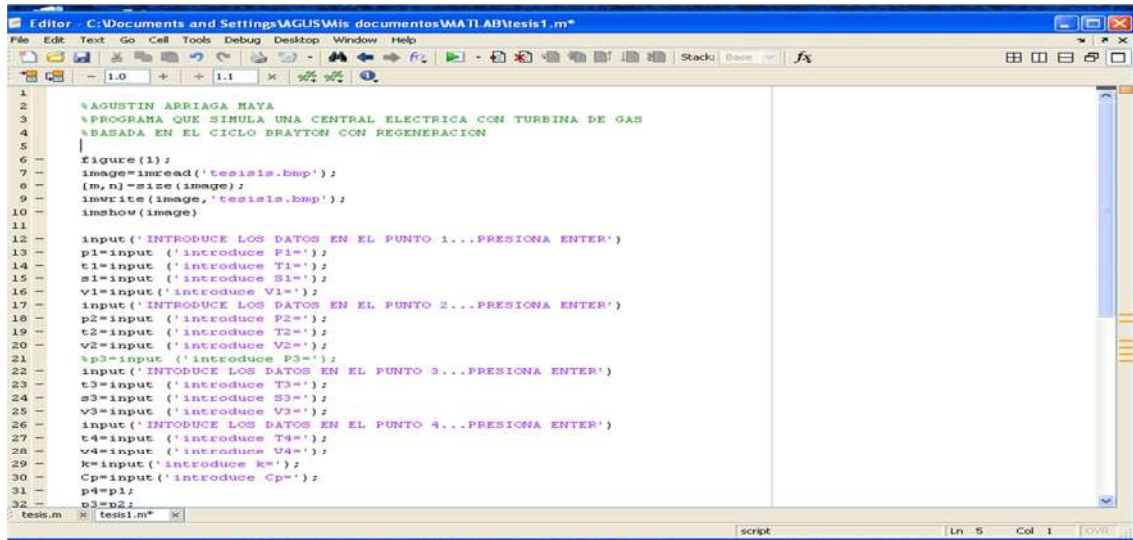


Figura 3.19 Esquema de planta que muestra matlab.

Como se mencionó anteriormente los dos sub-programas son muy similares y por consiguiente la estructura y secuencia de ejecución es similar, además imprime los resultados y gráficas necesarias que rigen el ciclo brayton con regeneración

En las figuras 3.20 y 3.21 se muestra el código fuente del sub-programa ciclo brayton con regeneración.

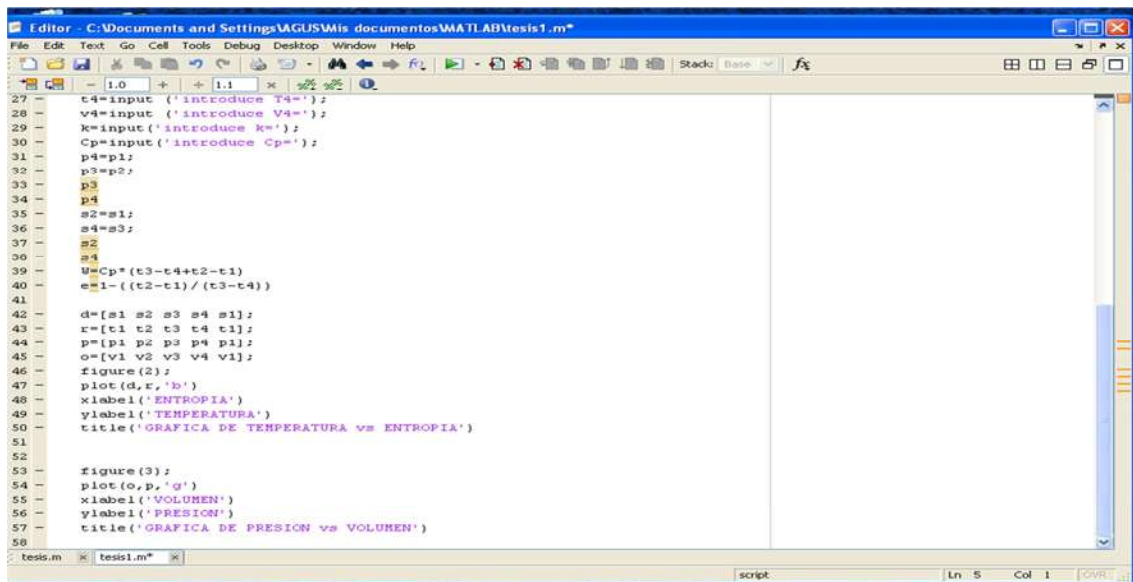


```

1
2 %AGUSTIN ARRIAGA HAYA
3 %PROGRAMA QUE SIMULA UNA CENTRAL ELECTRICA CON TURBINA DE GAS
4 %BASADA EN EL CICLO BRAYTON CON REGENERACION
5
6 figure(1);
7 image=imread('tesis1a.bmp');
8 [m,n]=size(image);
9 invert(image,'tesis1a.bmp');
10 imshow(image);
11
12 input('INTRODUCE LOS DATOS EN EL PUNTO 1...PRESIONA ENTER');
13 p1=input('introduce P1=');
14 t1=input('introduce T1=');
15 s1=input('introduce S1=');
16 v1=input('introduce V1=');
17
18 input('INTRODUCE LOS DATOS EN EL PUNTO 2...PRESIONA ENTER');
19 p2=input('introduce P2=');
20 t2=input('introduce T2=');
21 v2=input('introduce V2=');
22
23 input('INTRODUCE LOS DATOS EN EL PUNTO 3...PRESIONA ENTER');
24 t3=input('introduce T3=');
25 s3=input('introduce S3=');
26 v3=input('introduce V3=');
27
28 input('INTRODUCE LOS DATOS EN EL PUNTO 4...PRESIONA ENTER');
29 t4=input('introduce T4=');
30 v4=input('introduce V4=');
31 k=input('introduce k=');
32 Cp=input('introduce Cp=');
33 p4=p1;
34
35

```

Figura 3.20 Primera parte código fuente para el ciclo brayton con regeneración



```

27 t4=input('introduce T4=');
28 v4=input('introduce V4=');
29 k=input('introduce k=');
30 Cp=input('introduce Cp=');
31 p4=p1;
32 p3=p2;
33
34 p4
35 s2=s1;
36 s4=s3;
37
38 s2
39 s4
40
41 U=Cp*(t3-t4+t2-t1);
42 e=1-((t2-t1)/(t3-t4));
43
44 d=[s1 s2 s3 s4 s1];
45 r=[t1 t2 t3 t4 t1];
46 p=[p1 p2 p3 p4 p1];
47 o=[v1 v2 v3 v4 v1];
48 figure(2);
49 plot(d,r,'b');
50 xlabel('ENTROPIA');
51 ylabel('TEMPERATURA');
52 title('GRAFICA DE TEMPERATURA vs ENTROPIA');
53
54 figure(3);
55 plot(o,p,'g');
56 xlabel('VOLUMEN');
57 ylabel('PRESION');
58 title('GRAFICA DE PRESION vs VOLUMEN');
59

```

Figura 3.21 Segunda parte código fuente para el ciclo brayton con regeneración

En las figuras anteriores se muestra a detalle el código fuente para el sub-programa que rige el ciclo brayton con regeneración.

Una vez que se ejecute el programa principal y seleccionando simular el ciclo brayton con regeneración, además de introducir los datos necesarios en la ventana principal de matlab, lo que imprimirá será trabajo, eficiencia y las gráficas necesaria

CAPITULO 4

CASOS DE ESTUDIO

4.1 INTRODUCCION

La tecnología proporciona herramientas computacionales que facilita en gran porcentaje el análisis de este tipo de centrales en menor tiempo, en algunas ocasiones las centrales eléctricas requieren tener un análisis completo y detallado en tiempos sumamente cortos.

El objetivo de este capítulo es realizar el análisis detalladamente de dos problemas con valores y variables reales en centrales con turbinas de gas, y demostrar la eficiencia de los programas desarrollados

4.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los problemas que se muestran a continuación son datos y valores reales, una vez analizando y simulando estos se puede comparar y comprobar detalladamente cada uno de ellos.

4.2.1 Ciclo brayton simple

Se analiza una central eléctrica con turbina de gas en la que ingresa aire a $t_1=30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $p_1=14.7\text{ psi}$ y al pasar por el compresor se incrementa $t_2=48\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una presión de $p_2=73.5\text{ psia}$, que tiene una relación de compresión de 5. Estos entran a la cámara de compresión y se incrementan $t_3=1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la presión permanece constante El aire entra a la turbina a 1150°C y se expande hasta la presión atmosférica $p_4=14.7\text{ psia}$. Determinar el cociente W_t/W_c y el rendimiento η .

Solución numéricamente

Solución:

Datos

$$T_1 = 30^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 1150^\circ\text{C}$$

$$R = P_2/P_1 = 5$$

$$P_1 = P_4 = 14.696 \text{ Lb/plg}^2$$

$$P_2 = P_3 = 5P_1 = 73.5 \text{ psia}$$

$$\gamma = 1.4$$

$$C_p = 0.24$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = (30) \left(5^{\frac{0.4}{1.4}} \right) = 48^\circ\text{C}$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1150 \left(\frac{1}{5} \right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 726^\circ\text{C}$$

El trabajo desarrollado por la turbina es:

$$W_t = C_p(T_3 - T_4) = 0.24(1150 - 726) = 101.76 \text{ BTU} / \text{lb}$$

y el trabajo del compresor es:

$$w_c = C_p(T_2 - T_1) = 0.24(48 - 30) = 4.32 \text{ BTU/lb.}$$

$$\frac{W_t}{W_c} = \frac{101.76}{4.32} = 23.555$$

El calor proporcionado al ciclo es,

$$q = Cp(T_3 - T_2) = 0.24(1150 - 48) = 264.48 \text{ BTU / lb}$$

Finalmente, la eficiencia del sistema es,

$$e = \frac{W_t - W_c}{q} = \frac{101.76 - 4.32}{264.48} = 0.3684$$

O también

$$e = 1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1 - \left(\frac{1}{5} \right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 0.3686$$

Utilizando el programa, para encontrar la solución al problema planteado.

Inicialmente en la pantalla principal de matlab se ejecuta el programa que realiza un llamado a los subprogramas, y así muestra el diagrama basada en el ciclo brayton que se está analizando, como se muestra en la siguiente figura 4.1.

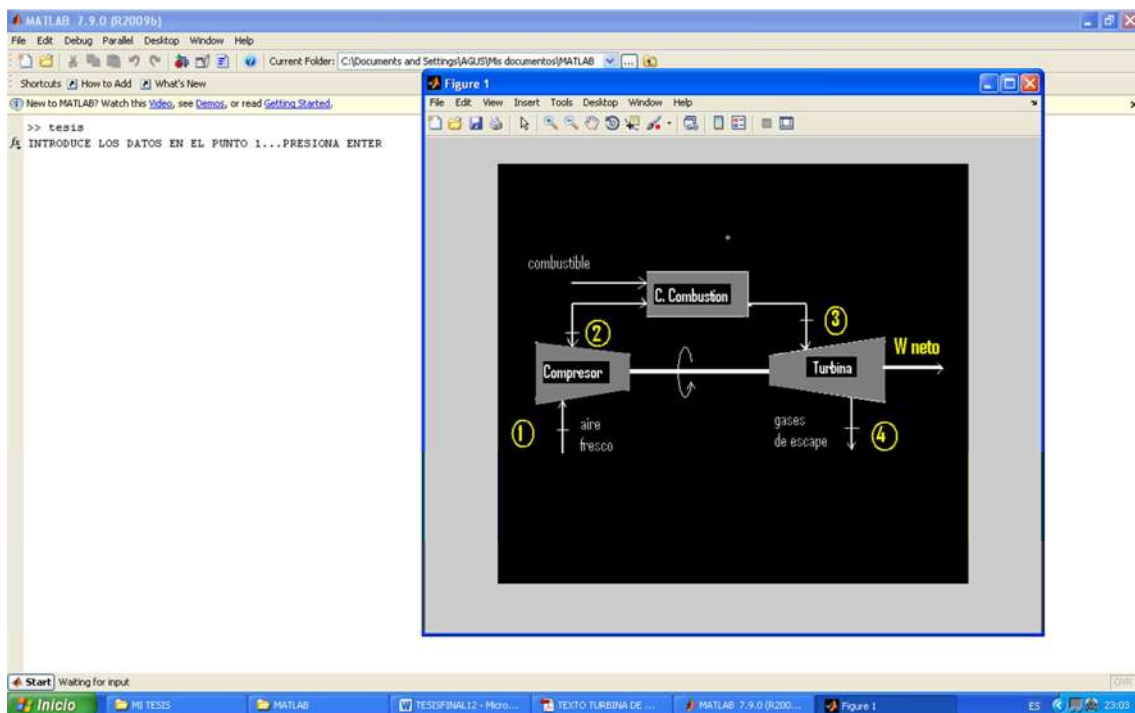


Figura 4.1 Diagrama que muestra matlab al ejecutar el programa

En seguida el programa realiza un llamado a una serie de datos necesarios al usuario, como se muestra en la siguiente figura 4.2.

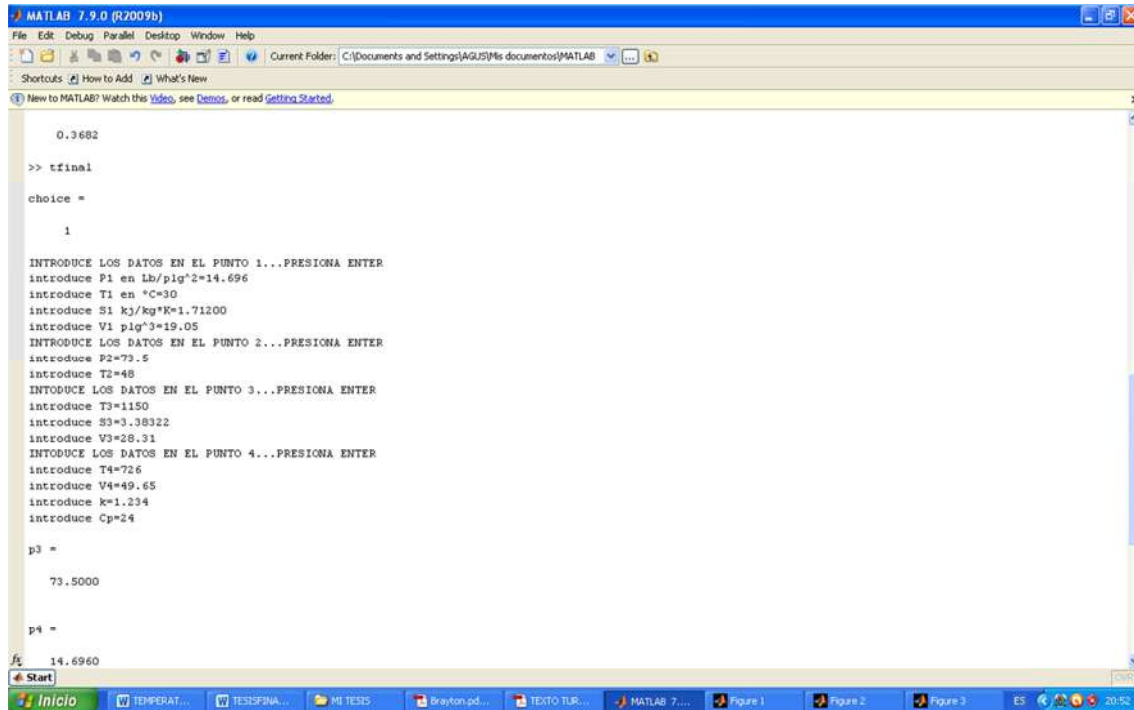


Figura 4.2 Requerimiento de datos

Una vez introducido los datos necesarios, el programa muestra resultados y gráficas como se muestra en la figura 4.3.

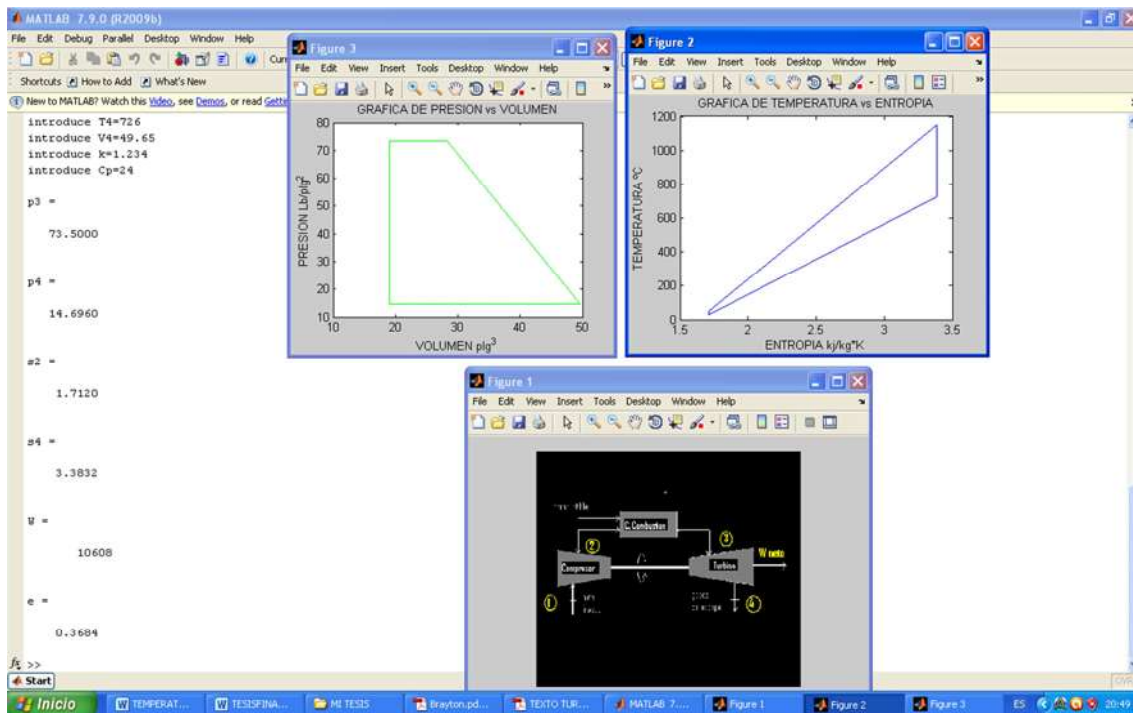


Figura 4.3 Resultados y gráficas que muestra el programa

En la figura 4.3 se muestra los resultados obtenidos por el programa como son la eficiencia y las gráficas que rigen el ciclo brayton simple.

La solución numéricamente la $\eta = 0.3686$, y el programa arroja que la $\eta = 0.3684$. Lo cual se puede observar y comprobar que los resultados son muy similares.

Es importante mencionar que los datos usados son de un problema real, también fue necesario usar tablas con características específicas del gas (aire)

4.3.2 Ciclo brayton con regeneración simple.

Se usará el mismo ejercicio que en el anterior, lo único que se modifica es la parte regenerativa para comparar y observar en cuanto aumenta la eficiencia.

Se tiene una central eléctrica con turbina de gas en la cual se emplea ciclo brayton con regeneración abierto, en la que ingresa aire a temperatura ambiente $t_1 = 30^\circ\text{C}$ y $p_1 = 14.7\text{ psia}$ y al pasar por el compresor se incrementa $t_2 = 48^\circ\text{C}$ y una presión de $p_2 = 73.5\text{ psia}$, que tiene

una relación de compresión de 5. Al entrar este aire a la parte regenerativa se incrementa la temperatura a $t_2=346^\circ\text{C}$. Estos entran a la cámara de compresión y se incrementan a $t_3=1150^\circ\text{C}$ y la presión permanece constante. El aire entra a la turbina a 1150°C y se expande hasta la presión atmosférica $p_4=14.7\text{psia}$. Determinar el cociente y el rendimiento η .

Solución numérica

Datos

$$T_1=30^\circ\text{C}$$

$$T_2=346^\circ\text{C}$$

$$T_3=1250^\circ\text{C}$$

$$T_4=745^\circ\text{C}$$

$$P_1=P_4=14.7\text{psia}$$

$$P_2=P_3=73.5\text{psia}$$

$$C_p=.24$$

$$e = 1 - \left(\frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_4} \right)$$

La eficiencia es,

$$e = 1 - \left(\frac{346^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}}{1250^\circ\text{C} - 745^\circ\text{C}} \right) = 1 - 0.62574 = 0.37424$$

Al ejecutar el programa principal, matlab muestra la siguiente figura 4.4 y ahora simularemos la parte regenerativa, se observa que de igual manera muestra el diagrama de la planta la cual se está simulando, ciclo brayton con regeneración

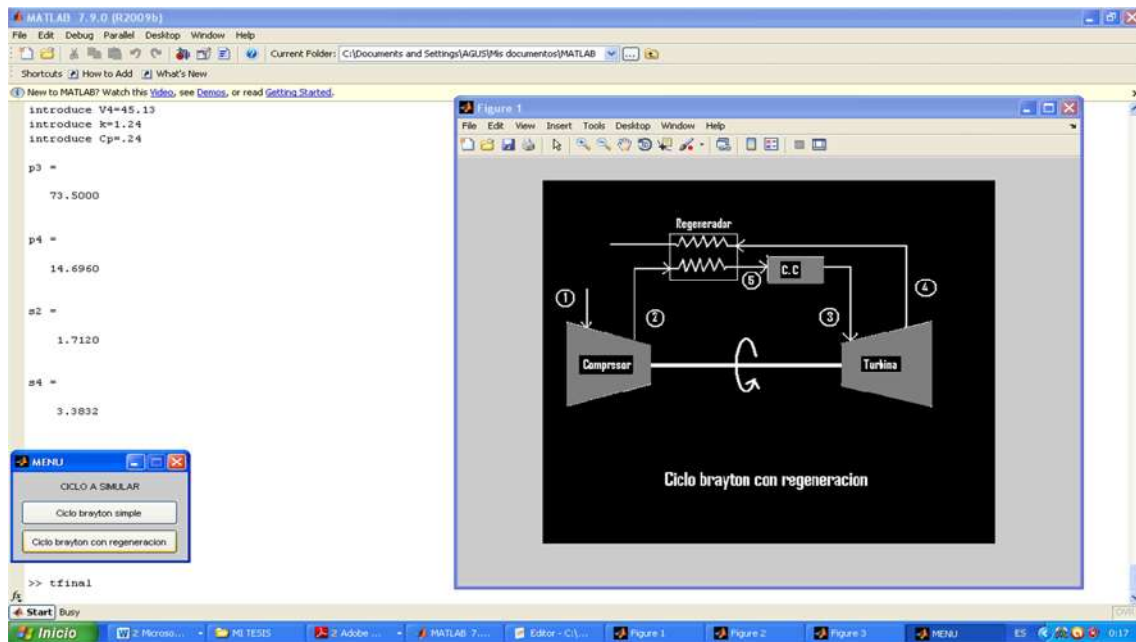


Figura 4.4 Ciclo brayton con regeneración

En seguida, el programa realiza un llamado a una serie de datos como se muestra en la figura 4.5.

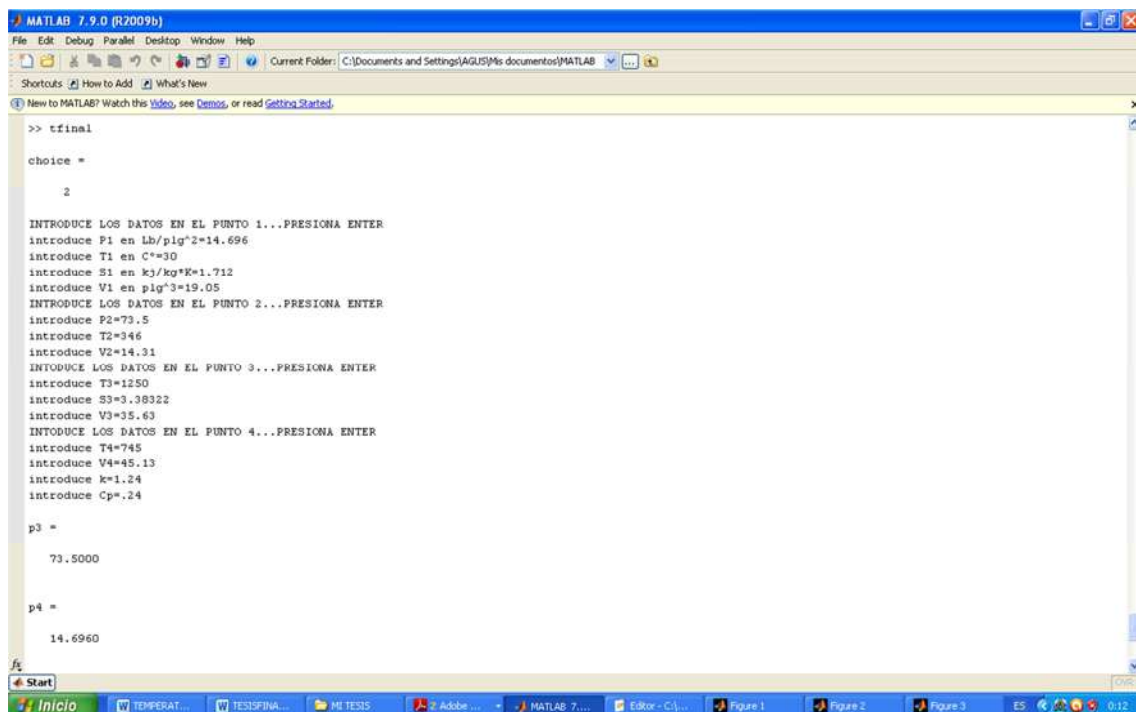


Figura 4.5 Requerimiento de datos

Una vez tecleado los datos necesarios al programa, lo que realiza es mostrar resultados y gráficas necesarias como se muestra en la siguiente figura 4.6.

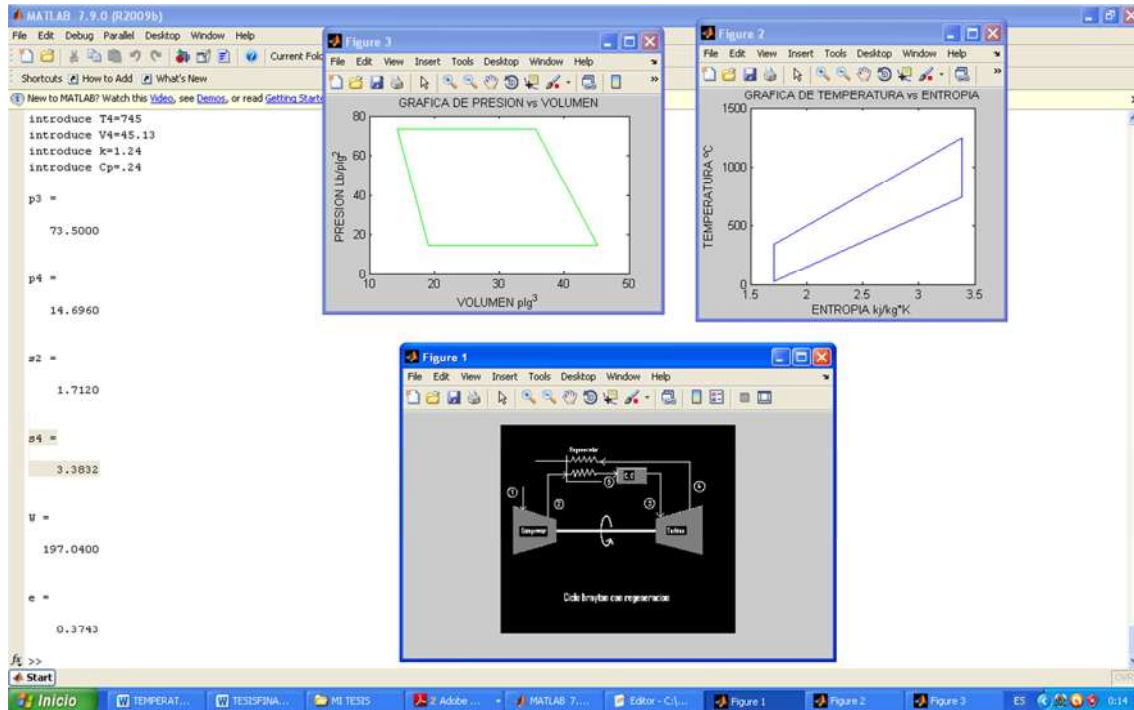


Figura 4.6 Resultados y graficas arrojadas

Una vez obtenido los resultados numéricamente y utilizando el programa podemos comparar resultados, se puede observar que la eficiencia calculada numéricamente $e=0.37424$ y utilizando el programa la eficiencia $e= 0.3749$, lo cual puede observarse que son muy similares.

Ahora se puede observarse que al usar regeneración en el ciclo brayton la eficiencia aumenta.

Ciclo brayton abierto simple $e=0.3684$

Ciclo brayton abierto simple con regeneración $e=0.3749$.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1 CONCLUSIONES

A través de este tema de tesis podemos concluir que éste tipo de centrales es y ha representado un índice muy importante en el sector eléctrico, debido a que su gran aplicación es sobre todo en las horas pico de la industria eléctrica.

Se puede concluir que el objetivo principal de este tema de tesis fue logrado en su totalidad, ya que los resultados son totalmente satisfactorios.

Por lo tanto, en este trabajo de tesis se presenta un software de uso sencillo de uso académico y que puede ser muy útil en el desarrollo del curso de Centrales Electricas que se imparte en esta facultad.

Finalmente, este software permite analizar el comportamiento de una central eléctrica de turbina de gas conociendo su eficiencia y potencia desarrollada

5.2 TRABAJOS FUTUROS

Es importante mencionar que en nuestro país, se han generado ciertos problemas que generalmente son producidos en las horas pico, que es cuando llega a su límite, y es ahí la necesidad de este tipo de centrales, que pueden empezar a operar en tiempos sumamente cortos, que como es visto, es una de las grandes ventajas para este tipo de problemas, hoy en día nuestro sistema eléctrico se encuentra nacionalmente conectado y en muchas ocasiones ha estado operando en un margen muy cercano al 100% y que si no aumentamos esta cantidad de centrales, en muy poco tiempo alcanzaremos un margen aun mas cercano al 100 % y esto puede llevar una variedad de problemas sumamente serios en el sistema eléctrico nacional.

BIBLIOGRAFIA.

1. ENERGIA MEDIANTE VAPOR, AIRE O GAS
W. H. Severns; H. E. Degler; J. C. Miles
Editorial Reverté S.A.
.
2. "TERMODINAMICA" . V. M. Faires.
"PRINCIPIOS DE LOS PROCESOS QUIMICOS". Tomo II (Termodinámica) . Houghen,
Watson y Ragatz
3. INDUSTRIAL GAS TURBINES SINGLE SHAFT
John Brown Engineering Ltd.
London – England
4. GAS TURBINE POWER PLANTS
Siemens Aktiengesellschaft
Erlangen - Germany
5. ADVANTAGES OF GAS TURBINE
General Electric Company
EEUU
6. MOTORES TERMICOS
R. Martinez De Vedia
Editorial Reverté S.A.
Barcelona – España
7. INTRODUCCION A MATLAB
Editorial Reverte S.A.